

UNIVERSIDAD NACIONAL DE PIURA

Facultad de Ingeniería Civil

Escuela Profesional de Ingeniería Civil



TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

**“PROPUESTA DE UNA METODOLOGÍA PARA IMPLEMENTAR
LAS TECNOLOGÍAS VDC/BIM EN LA ETAPA DE DISEÑO DE LOS
PROYECTOS DE EDIFICACIÓN”**

Presentada por:

Shirley Judith Martínez Ayala

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE
Ingeniero Civil

Línea de investigación:

Ingeniería civil, arquitectura y urbanismo

Sub Línea de investigación:

Construcción

Piura, Perú

2019

UNIVERSIDAD NACIONAL DE PIURA
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL



TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

**“PROPUESTA DE UNA METODOLOGÍA PARA IMPLEMENTAR LAS
TECNOLOGÍAS VDC/BIM EN LA ETAPA DE DISEÑO DE LOS PROYECTOS
DE EDIFICACIÓN”**

Línea de investigación:

Ingeniería civil, arquitectura y urbanismo

Sub Línea de investigación:

Construcción

Bch. Shirley Judith Martínez Ayala
Ejecutor de Trabajo de Investigación

Ing. Luis Alberto Benites Ávalos
Asesor

Piura, Perú

2019

**DECLARACIÓN JURADA
DE ORIGINALIDAD DE TRABAJO DE INVESTIGACION**

Yo: MARTÍNEZ AYALA SHIRLEY JUDITH, identificado con DNI N° 76978550, en la condición de BACHILLER de la Facultad de INGENIERÍA CIVIL, Escuela Profesional de INGENIERÍA CIVIL y domiciliado en CALLE PROGRESO 184, Distrito RINCONADA LLICUAR, Provincia SECHURA, Departamento PIURA, Celular: 942134797 y Email: SHIRLEY_JUD@HOTMAIL.COM.

DECLARO BAJO JURAMENTO: que el trabajo de investigación que presento a la Oficina Central de Investigación (OCIN), es original, no siendo copia parcial ni total de un trabajo de investigación desarrollado, y/o realizado en el Perú o en el Extranjero, en caso de resultar falsa la información que proporciono, me sujeto a los alcances de lo establecido en el Art. N° 411, del código Penal concordante con el Art. 32° de la Ley N° 27444, y Ley del Procedimiento Administrativo General y las Normas Legales de Protección a los Derechos de Autor.
En fe de lo cual firmo la presente.

Piura, 19 de agosto, del 2019



DNI N° 76978550

Artículo 411.- El que, en un procedimiento administrativo, hace una falsa declaración en relación a hechos o circunstancias que le corresponde probar, violando la presunción de veracidad establecida por ley, será reprimido con pena privativa de libertad no menor de uno ni mayor de cuatro años.

Art. 4. Inciso 4.12 del Reglamento del Registro Nacional de Trabajos de Investigación para optar grados académicos y títulos profesionales –RENATI Resolución de Consejo Directivo N° 033-2016-SUNEDU/CD

ACTA DE CONFORMIDAD DE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

EL JURADO DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN DENOMINADO:

**“PROPUESTA DE UNA METODOLOGÍA PARA IMPLEMENTAR LAS
TECNOLOGÍAS VDC/BIM EN LA ETAPA DE DISEÑO DE LOS PROYECTOS
DE EDIFICACIÓN”**

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN: INGENIERÍA CIVIL, ARQUITECTURA Y
URBANISMO

SUB LÍNEA DE INVESTIGACIÓN: CONSTRUCCIÓN

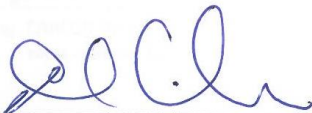
DAN CONFORMIDAD AL PRESENTE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN AL NO PRESENTAR
OBSERVACIÓN ALGUNA.



Dr. EDWIN OMAR VENCES MARTÍNEZ
Presidente



Msc. Ing. ADELA AUGUSTO VILCHEZ
Secretario



Msc. Ing. CARLOS JAVIER SILVA CASTILLO
Vocal



ACTA DE EVALUACION DEL INFORME DE INVESTIGACIÓN

Los miembros del Jurado Calificador del Informe de Investigación denominado “**PROPUESTA DE UNA METODOLOGÍA PARA IMPLEMENTAR LAS TECNOLOGÍAS VDC/BIM EN LA ETAPA DE DISEÑO DE LOS PROYECTOS DE EDIFICACIÓN**”, presentado por la bachiller **SHIRLEY JUDITH MARTINEZ AYALA**, participante del **Programa de Actualización para Titulación Profesional en la Especialidad de Ingeniería Civil Versión XVII 2019**, asesorado por el Ing. Luis Alberto Benites Ávalos, revisado y absueltas las observaciones formuladas por el Jurado Calificador, lo declaran:

Aprobado

Con la nota:

Dr. EDWIN OMAR VENCES MARTINEZ

16

Msc. Ing. ADELA AUGUSTO VILCHEZ


16

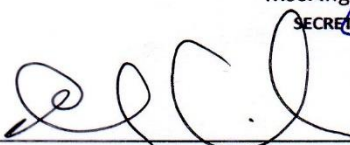
Msc. Ing. CARLOS JAVIER SILVA CASTILLO

17

Piura, 23 de Julio de 2019


Dr. EDWIN OMAR VENCES MARTINEZ
PRESIDENTE – JURADO CALIFICADOR


Msc. Ing. ADELA AUGUSTO VILCHEZ
SECRETARIO – JURADO CALIFICADOR


Msc. Ing. CARLOS JAVIER SILVA CASTILLO
VOCAL – JURADO CALIFICADOR

DEDICATORIA

Dedico el presente trabajo de investigación a mis padres y hermanas, por apoyarme hasta esta etapa de mi vida profesional, e incentivarme a mejorar cada día.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco en primera instancia a mi asesor, por aceptar ser partícipe de este proyecto, por su compromiso hacia el asesoramiento y brindarme pautas y consejos para lograr el término del presente.

Agradezco también a mis amigos y familiares más cercanos, por la ayuda otorgada, cuando lo requerí y solicité.

INDICE GENERAL

INTRODUCCIÓN.....	1
CAPITULO I: ASPECTOS DE LA PROBLEMÁTICA.....	2
1.1 DESCRIPCIÓN DE LA REALIDAD PROBLEMÁTICA	2
1.1.1. Métodos de entrega del proyecto.....	3
1.1.1.1. Diseño - Licitación - Construcción	3
1.1.1.2. Diseño – Construcción:.....	4
1.1.2. Problemas en la etapa de diseño	4
1.1.2.1. Diseño artesanal	4
1.1.2.2. Defectos del diseño tradicional:.....	5
1.1.3. Problemas en la etapa de construcción:	6
1.1.4. Flujos de Información en el Ciclo de Vida del Proyecto.	7
1.1.5. Flujos de Información entre Actores del Proyecto	9
1.1.6. Problemas de Documentación, Información y Comunicación	9
1.1.6.1. Comunicación y Coordinación	9
1.1.6.2. Disponibilidad y Confiabilidad de la Información del proyecto	10
1.1.6.3. Calidad del proceso de toma de Decisiones.....	11
1.1.7. Formulación del problema de investigación:.....	13
1.2 JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA DE LA INVESTIGACIÓN	13
1.3 OBJETIVOS	14
1.3.1 Objetivo general:.....	14
1.3.2 Objetivos específicos:	14
CAPITULO II: MARCO TEORICO	15
2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN	15
2.2 BASES TEÓRICAS	19
2.2.1 Virtual Design and Construction (VDC).....	19
2.2.2 Building Information Modeling (BIM).....	19
2.2.3 Concepto VDC/BIM.....	20
2.2.4 Aplicaciones de BIM/VDC a lo largo del ciclo de vida de un proyecto	21
2.2.4.1 BIM durante la etapa de diseño	21
2.2.4.2 BIM durante la etapa de construcción:.....	23
2.2.5 Beneficios del uso del BIM en el diseño y la construcción	24
2.2.6 Herramientas BIM:	25
2.2.7. Dimensiones BIM.....	25
2.2.7.1. 3D: Representación tridimensional del proyecto	25

2.2.7.2. 4D: Programación:	25
2.2.7.3. 5D: Análisis de costos	26
2.2.7.4. 6D: Sostenibilidad	26
2.2.7.5. 7D: La gestión del ciclo de vida	26
2.2.7 Lean Construction.....	27
2.2.7.1 Productividad.....	27
2.2.7.2 Aplicación de técnicas Lean en actividades de Construcción	28
2.2.8 Sinergia Lean – BIM:.....	31
2.2.9. Situación actual de la adopción de BIM en el Perú	31
2.2.9.1. BIM en el Perú	31
Comité BIM:	31
Implementación de la tecnología BIM en el sector construcción:	33
Nivel de madurez BIM (NMB):	35
2.3 GLOSARIO DE TÉRMINOS BÁSICOS.....	36
2.4 HIPOTESIS:	37
CAPITULO III: MARCO METODOLÓGICO	38
3.1. ENFOQUE:	38
3.2. DISEÑO:.....	38
3.3. MÉTODOS Y PROCEDIMIENTOS:.....	38
3.4. PROCESOS Y HERRAMIENTAS DE IMPLEMENTACIÓN	38
3.4.1. Actores	38
3.4.2. Procesos de integración	39
3.4.2.1. VDC con IPD (Integrated Project Delivery)	39
3.4.2.2. VDC – ICE (Integrated Concurrent Engineering)	40
3.4.2.3. VDC – Mapeo de procesos	41
3.4.2.4. VDC – importancia de las métricas	41
3.4.3. Metodología de modelado BIM	41
3.4.3.2. Diseño Detallado (Estructuración)	42
3.4.3.3. Análisis y Diseño Estructural	43
3.4.3.4. Simulación 4D.....	43
3.4.3.5. Simulación 5D.....	44
3.4.3.6. Documentación	45
3.4.3.7. Prefabricación	46
3.4.3.8. Logística de Construcción	46
3.4.3.9. Operación y Mantenimiento	47
3.4.3.10. Renovación	48

3.4.4.	Herramientas tecnológicas BIM.....	48
3.4.4.1	Tipos de Software BIM:	48
3.4.4.2.	Software de Modelamiento y Software de Gestión	50
a)	REVIT:.....	51
b)	TEKLA.....	56
c)	NAVISWORKS	56
3.4.4.3.	Modelación Paramétrica	57
3.4.4.4.	Nivel de detalle BIM	58
3.4.4.5.	Interoperabilidad.....	60
3.4.4.6.	Casas de software	61
	Building Smart y OPEN BIM.....	61
3.4.5.	Enfoque Lean	62
3.4.5.1.	Principales principios de Lean	63
3.4.5.2.	Herramientas lean:	64
3.5.	TÉCNICAS E INSTRUMENTOS:.....	67
3.6.	ASPECTOS ÉTICOS:.....	67
	CAPITULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN	68
4.1	RESULTADOS	68
4.1.1.	ALCANCE DE LA PROPUESTA	68
4.1.2.	PROPUESTA.....	69
4.1.2.1.	Congregar a los involucrados	69
a)	Sistema de contratación de especialistas	69
b)	Inclusión de subcontratistas y proveedores	69
c)	Equipo BIM.....	72
d)	Roles y personal organizacional	73
	Jefe de proyectos:	73
	Coordinador general BIM:.....	74
	Subcoordinador BIM de las diferentes especialidades	74
	Proyectista	74
	Modelador Bim:.....	74
e)	Implementación de las sesiones ICE:.....	75
	Procedimientos de reuniones de coordinación	76
4.1.2.2.	Infraestructura tecnológica – BIM	77
a)	Elección del software	77
b)	Modelado BIM	78
	Diseño conceptual.....	78

Estructuración	78
Simulación 4D	80
Nivel de detalle	82
4.1.2.3. Análisis.....	83
a) Detección de interferencias	83
b) Actualización del modelo:	84
c) Coordinación de revisión del modelo	84
4.1.2.4. Coordinar y compartir	85
a) Planificar la gestión de las comunicaciones.....	85
Compartir la información del modelo.....	85
b) Mapeo de procesos internos.....	87
c) Capacitaciones	87
4.1.2.5. Análisis – métricas	88
a) Metrados – presupuestos.....	88
Verificación de metrados	90
b) Reunión de entrega.....	92
4.1.2.6. Automatización.....	93
4.3. Ecosistema BIM en el Perú	95
¿Por qué ecosistema BIM?	95
4.2. DISCUSIÓN	99
CONCLUSIONES.....	100
RECOMENDACIONES.....	101
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	102
ANEXOS.....	103

INDICE DE TABLAS

Tabla 1.1: Distribución del tiempo y tiempos de espera en los procesos de diseño.....	2
Tabla 2.1. Aplicaciones de BIM/VDC a lo largo del ciclo de vida de un proyecto.....	21
Tabla 3.1 Software BIM y sus características.....	49
Tabla 3.2: Principales software BIM usados en Perú.....	51
Tabla 3.3 Hitos y fechas de las actividades.....	65
Tabla 3.4 Plan semanal.....	66
Tabla 3.5 Restricciones.....	66
Tabla 4.1. Reuniones de coordinación.....	76
Tabla 4.2. Software/ Hardware BIM.....	77
Tabla 4.3. Intercambio de información hacia el cliente para su aprobación.....	86
Tabla 4.4. Entregables.....	91

INDICE DE FIGURAS

Figura 1.1. Nivel de industrialización del sector construcción.....	2
Figura 1.2. Mayores problemas que ocurren durante una obra debido a un mal diseño.....	5
Figura 1.3. Pérdidas más frecuentes.....	7
Figura 1.4. Causas de no cumplimiento.....	7
Figura 1.5. Flujos de información en el ciclo de vida de un proyecto.....	8
Figura 1.6. Típica situación.....	10
Figura 1.7. Potencial para influir en el costo final.....	12
Figura 2.1: Dimensiones BIM.....	26
Figura 2.2. Plan Estratégico – Comité BIM del Perú.....	32
Figura 2.3. Actual BIM: Compatibilización.....	36
Figura 3.1: Sesión ICE (Integrated Concurrent Engineering).....	40
Figura 3.2. Ejemplo de diseño conceptual	42
Figura 3.3 Ejemplo de estructuración: arquitectura, predimensionamiento e instalaciones.....	42

Figura 3.4: Análisis y diseño estructural	43
Figura 3.5 Simulación 4D.....	44
Figura 3.6. Construcción 5D.....	45
Figura 3.7. Documentación	45
Figura 3.8. Proceso de montaje de los muros de hormigón Prefabricado.....	46
Figura 3.9 Ubicación de elementos.....	47
Figura 3.10 Operación y mantenimiento.....	47
Figura 3.11 Ampliación.....	48
Figura 3.12 Revit Architecture 2018	52
Figura 3.13. Revit Architecture 2018 – Propiedades.....	52
Figura 3.14 Revit Architecture 2018 – área de trabajo.....	53
Figura 3.15 Revit structure 2018 – área de trabajo	53
Figura 3.16 Revit MEP.....	54
Figura 3.17 Revit MEP 2018.....	54
Figura 3.18: Línea de flujo del software Revit y sus aplicaciones.....	55
Figura 3.19 Ejemplos de Modelación Paramétrica.....	58
Figura 3.20. Nivel de detalle BIM.....	58
Figura 3.21 Un archivo de Revit puede ser grabado con extensión IFC y luego ser utilizado por VICO (para estimar los costos) y por ETABS para hacer el análisis estructural.	61
Figura 3.22 Clasificación de actividades según Lean Production	62
Figura 3.23. Procesos de conversión.....	63
Figura 3.24 Ventajas del método IPD integrado con BIM.....	64
Figura 3.25 Esquema de Last Planner System.....	65
Figura 4.1 Cambio socio – técnico.	68
Figura 4.2. Metodología VDC (Virtual Design Construction) propuesta.	69
Figura 4.3. Actual BIM: Compatibilización.....	70
Figura 4.4. Propuesta: Preconstrucción VDC/BIM.....	71
Figura 4.5. Equipo BIM.....	72
Figura 4.6. Personal organizacional	73
Figura 4.7. Sesión ICE (Integrated Construction Engeniering)	75

Figura 4.8. Revit Estructura 2018.....	78
Figura 4.9. Revit MEP 2018	79
Figura 4.10. Software Navisworks 2018	80
Figura 4.11. Navisworks - Inicio de simulación	81
Figura 4.12. Navisworks - Fin de simulación	81
Figura 4.13. Recorridos virtuales – Navisworks.	82
Figura 4.14 Detección de interferencias	83
Figura 4.15. Flujo de trabajo para validación del modelo	84
Figura 4.16. Espacios de trabajo y procedimientos de comunicación.....	85
Figura 4.17. Mapeo de procesos de los involucrados.	86
Figura 4.18. Interés en los participantes	87
Figura 4.19. Flujo de trabajo – Metrados.....	88
Figura 4.20. Flujo de verificación de metrados.	90
Figura 4.21. Automatización.....	92
Figura 4.22. Preconstrucción en el modelo	92
Figura 4.23. Fabricación desde el modelo	93
Figura 4.24. BIM en constante evolución.....	93
Figura 4.25. Ecosistema BIM en el Perú.	94

INDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Matriz general de consistencia

RESUMEN

Si bien la implementación de BIM, ha sumado una mejora en la gestión de proyectos de edificación, se presentan dificultades al momento de generar el cambio en los estilos de trabajo, se percibe una desaceleración en la implementación por diferentes factores, se sigue sin demostrar un claro beneficio en el sector de la construcción. Posteriormente, surge la metodología Virtual Desing and Construction (VDC), para realizar una mejor gestión de la información que obtenemos con BIM.

La generación de un buen modelo BIM, con buena información sumado a un mapeo de procesos, llevado de la mano con sesiones ICE que es parte importante en la metodología VDC, y tener un control de buenas métricas, da como resultados detección de interferencias, ahorros de tiempo, los metrados obtenidos de gran precisión para comparar y controlar los costos, simular y analizar en 4D el modelo, permite obtener planos con ingeniería de detalle, listos para la etapa de fabricación con la información que entrega el mismo modelo, en la etapa futura se tiene la ventaja de controlar la ejecución en obra usando el mismo modelo, controlar a detalle que todo se instale correctamente, y se evite los retrabajos, reprocesos, gastos mayores a los presupuestados, que comúnmente se tienen en la etapa de construcción debido a las deficiencias del diseño del proyecto, gracias a la detección temprana de interferencias y la resolución de estas. La metodología VCD (Virtual Design Contruction), nos permite automatizar los procesos de implementación y mejorar la etapa de diseño.

Estas tecnologías no son nuevas sin embargo recién están siendo implementadas debido a los fuertes cambios de paradigma que requieren dentro de los procesos empresariales tradicionales. Las mejoras en la interoperabilidad y capacidades computacionales más accesibles son factores que facilitan la implementación.

Palabras claves: BIM, VDC, ICE, Implementación, Metodología.

ABSTRACT

Although the implementation of BIM, has added an improvement in the management of building projects, there are difficulties in generating change in work styles, a slowdown in implementation is perceived by different factors, it still does not demonstrate a clear benefit in the construction sector. Subsequently, the Virtual Design and Construction (VDC) methodology emerged, to better manage the information we obtain with BIM.

The generation of a good BIM model, with good information added to a process mapping, carried out by hand with ICE sessions that is an important part of the VDC methodology, and having good metrics control, results in interference detection, savings of time, the measurements obtained from great precision to compare and control the costs, simulate and analyze the model in 4D, allows to obtain detailed engineering plans, ready for the manufacturing stage with the information provided by the same model, in the stage The future has the advantage of controlling the execution on site using the same model, controlling in detail that everything is installed correctly, and reworking, reprocessing, expenses greater than those budgeted, which are commonly in the construction stage due to the deficiencies of the design of the project, thanks to the early detection of interferences and the resolution of these. The VCD (Virtual Design Construction) methodology allows us to automate the implementation processes and improve the design stage.

These technologies are not new, however they are only being implemented due to the strong paradigm changes that they require within traditional business processes. Improvements in interoperability and more accessible computational capabilities are factors that facilitate implementation.

Keywords: BIM, VDC, ICE, Implementation, Methodology.

INTRODUCCIÓN

La complejidad de los proyectos de edificaciones, requeridos por los clientes hoy en día, es cada vez mayor, la cantidad de información que el proyecto contiene y la forma en que esta es organizada y representada crea variabilidad durante el proceso de construcción y conduce a pérdidas durante la ejecución (Saldías, 2010).

Como parte de la solución a los problemas complejos del desarrollo de proyectos surge una herramienta tecnológica relativamente nueva en el Perú, denominada BIM (Building Information Modeling). Sin embargo, la implementación de BIM en el país se encuentra en fase inicial, la adopción la han realizado, fundamentalmente, las empresas constructoras más grandes y las principales gerencias de proyectos (GRUPO S10, 2017).

En los últimos años, las experiencias realizadas por diferentes organizaciones en el mundo han demostrado que la utilización de la metodología BIM (Building Information Modeling), entendido como la aplicación de nuevos procesos y tecnologías, está dando mejores resultados que los modelos tradicionales de gestión de proyectos. Posteriormente, surge la metodología Virtual Desing and Construction (VDC), para realizar una mejor gestión de la información que obtenemos con BIM (Costos Educa, 2018).

Todos coinciden en que el BIM, hoy por hoy, no es una opción, es una necesidad que involucra a todos los factores del sector construcción. Y en el Perú, las organizaciones van comprendiendo la importancia de su aplicación en los proyectos, por ello, es importante que se establezcan estándares, propuestas y definiciones generales para la implementación BIM/VDC en el Perú. Del mismo modo, que se vuelva una política de estado y que las empresas incluyan la transformación de los procesos internos de este sistema a un nivel más profundo. Siendo necesario dar pasos más firmes que permitan una adopción total (GRUPO S10, 2017).

La implementación de las tecnologías BIM a través de la vía de la metodología VDC, según los resultados obtenidos, requiere en esencia un cambio social, un espíritu colaborativo, integrador, de compromiso, por parte de todos los involucrados del sector construcción, hacia la aceptación de estas tecnologías.

Es posible proponer una metodología para implementar las tecnologías VDC/BIM en la etapa de diseño de los proyectos de edificación. Permite la detección temprana de errores, logrando solucionarlos en esta fase de diseño, con menos dificultades, en comparación con el costo y el tiempo que toma comúnmente resolver en la etapa de construcción, que, por lo general, conlleva a resolver estos errores deficientemente debido a la prisa con que se solucionan, reflejándose en las deficiencias que presenta el producto y en los retrasos en los plazos de entrega.

El presente trabajo de investigación se esquematiza en cuatro capítulos, el primer capítulo, describe los aspectos de la problemática, el segundo capítulo, corresponde al marco teórico, el tercer capítulo, describe el marco metodológico en q se fundó el tema de investigación, y el cuarto capítulo, detalla los resultados obtenidos, se realiza una breve discusión y se finaliza con las conclusiones y recomendaciones.

CAPITULO I: ASPECTOS DE LA PROBLEMÁTICA

1.1 DESCRIPCIÓN DE LA REALIDAD PROBLEMÁTICA

La complejidad de los proyectos de edificaciones, requeridos por los clientes hoy en día, es cada vez mayor, se tiene una gran variedad de instalaciones, materiales, insumos, y procedimientos (Taboada, Alcántara, Lovera, Santos, & Diego, 2011). Además, la cantidad de información que el proyecto contiene y la forma en que esta es organizada y representada influye directamente en la dificultad e incertidumbre del proyecto, creando variabilidad durante el proceso de construcción y conduciendo a pérdidas durante la ejecución (Saldias, 2010).

Es conocido por todos que la productividad y nivel de industrialización del sector construcción se ha mantenido a nivel muy por debajo de los estándares de otros sectores productivos. En los últimos años las condiciones de productividad de la industria no han mejorado, tal como se refleja a continuación.

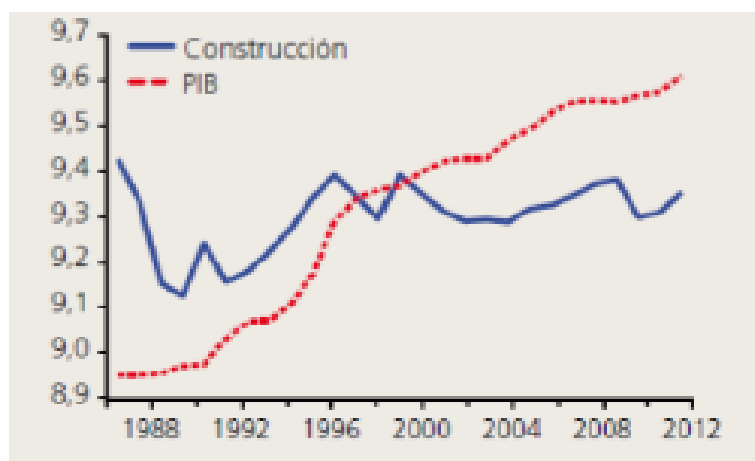


Figura 1.1. Nivel de industrialización del sector construcción.

Fuente: (Costos Educa, 2018)

La necesidad del cliente de poner en marcha las operaciones del proyecto lo más pronto posible hace que, por lo general, no se destina el tiempo y esfuerzo suficiente al desarrollo de la ingeniería de los proyectos, es decir, por lo general los documentos contractuales tienen calidad deficiente, y ello recae durante la construcción puesto que el contratista tiene que afrontar problemas de falta de información y de cambios constantes debido a las indefiniciones o decisiones de última hora que modifican el alcance del proyecto, generando así sobrecostos, ampliaciones de plazo, adicionales de obra, desperdicios, retrabajos, entre otros (Costos Educa, 2018).

1.1.1. Métodos de entrega del proyecto

1.1.1.1. Diseño - Licitación - Construcción

La mayoría de proyectos en el Perú se desarrollan según el modelo Diseño – Licitación - Construcción, es decir, el diseño está separado de la construcción por una etapa de licitación y por lo general el constructor no es la misma entidad diseñadora.

Es la forma más tradicional para el desarrollo de un proyecto, el cliente contrata a un proyectista, quien desarrolla una serie de requerimientos y establece los objetivos del diseño del proyecto a través de una serie de fases: diseño esquemático, desarrollo del diseño y documentos contractuales. Los documentos finales deben completar las especificaciones y satisfacer las normas gubernamentales. El proyectista luego contrata a consultoras para apoyar el diseño estructural, mecánico, sanitario y de todas las especialidades necesarias. Estos diseños son plasmados en planos (plantas, elevaciones, visualizaciones 3D), los cuales deben ser coordinados para reflejar todos los cambios a medida que sean identificados. La serie final de los planos y especificaciones (técnicas, administrativas, etc.) debe contener suficiente detalle para facilitar la licitación de la construcción (Saldias, 2010).

El siguiente paso es el de obtener propuestas de contratistas generales (empresa encargada de gestionar la construcción). A cada contratista se le debe enviar la serie de planos y especificaciones que luego son utilizados para estimar las cantidades, definir las partidas y realizar la serie de precios unitarios que determinarán el monto del contrato. El contratista “ganador” es usualmente aquel que cumpla los requerimientos técnicos y ofrezca el menor precio. Antes de que el trabajo pueda comenzar, es necesario redibujar algunos planos para reflejar de mejor forma el proceso de construcción y las fases de trabajo (Saldias, 2010).

Usualmente, durante la fase de construcción, numerosos cambios son hechos al diseño como resultado de errores y omisiones no conocidas, condiciones de terreno no anticipadas, cambios en la disponibilidad de materiales, preguntas respecto al diseño, nuevos requerimientos del cliente y nuevas tecnologías, esta necesidad debe ser resuelta por el equipo del proyecto. Para cada cambio, un procedimiento es requerido para determinar la causa, asignar responsabilidades, evaluar el tiempo y la implicancia en los costos, y determinar cómo el problema será resuelto. Este procedimiento involucra generalmente un requerimiento de información, que debe ser respondido por el proyectista u otra especialidad. Luego, una orden de cambio es establecida y todos los participantes que son impactados por el cambio son notificados acerca del cambio realizado, el cual es comunicado junto con lo que es necesario modificar en los planos involucrados. Estos cambios y resoluciones frecuentemente conllevan a disputas legales, añaden costos y retrasos (Saldias, 2010).

La fase final es poner en servicio la edificación, que toma lugar después de que la construcción es terminada. Esto involucra probar los sistemas de las diferentes especialidades para asegurarse de que estos trabajen apropiadamente. Los planos que reflejen los cambios hechos y que representan en la realidad lo que se construyó (planos as-built) son entregados al cliente junto con todos los manuales del equipamiento instalado (Saldias, 2010).

Dado que toda la información suministrada al cliente es transmitida en 2D (en papel), este debe poner un esfuerzo considerable para entregar toda la información necesaria al equipo que operará la infraestructura. El proceso toma bastante tiempo, es costoso, propenso a errores y se mantiene como una significativa barrera de operación. Como resultado de estos problemas, el enfoque tradicional no es la forma más expedita y eficiente para diseñar y construir un proyecto (Saldías, 2010).

1.1.1.2. Diseño – Construcción:

Este método de entrega fue desarrollado para consolidar la responsabilidad del diseño y la construcción en una entidad contractual singular y para simplificar las tareas administrativas del cliente. (Beard et al, 2005). En este modelo, el cliente contrata directamente al equipo de diseño-construcción (Design – Build, en sus siglas al inglés) para desarrollar el diseño esquemático y un programa de construcción bien definido. El contratista “DB” (Design – Build) luego estima el costo total y el tiempo necesario para construir la edificación. Después de que todas las modificaciones requeridas por el cliente son implementadas, el plan es aprobado y la estimación final del costo del proyecto es establecido. Este método permite hacer las modificaciones de diseño en etapas tempranas, lo que es importante destacar dado que los recursos y el tiempo necesario para gestionar cambios de diseño en etapas posteriores es reducido considerablemente (Saldías, 2010).

El contratista DB (Design – Build,) establece relaciones contractuales con diseñadores, especialistas y subcontratistas como este estime necesario. Luego de este punto, la construcción comienza y cualquier cambio en el diseño (bajo ciertos límites predefinidos) es responsabilidad del contratista DB (Design – Build,). Lo mismo para el caso de errores y omisiones. No es necesario que los planos detallados de construcción estén completados para todas las partes del edificio antes del comienzo de la construcción (en general hay un traslape entre la etapa de diseño y construcción). Como resultado de estas simplificaciones, la edificación es típicamente terminada en forma más rápida, con menos complicaciones legales y a un reducido costo total. Por otro lado, existe una menor flexibilidad para el cliente en hacer cambios luego de que el diseño inicial es aprobado y el monto del contrato es establecido (Saldías, 2010).

1.1.2. Problemas en la etapa de diseño

1.1.2.1. Diseño artesanal:

En cuanto a la etapa de diseño, la mayor parte de los proyectos que se vienen desarrollando se ejecutan en base a documentos de diseño generados principalmente con tecnología 2D CAD, esta definición o intento de diseño es el motivo de los problemas tradicionales de la construcción, usando componentes poco industrializados (Costos Educa, 2018) .

Esta falta de definición que es un estándar en los proyectos es resultado del uso de tecnología imprecisa, los bajos costos del diseño, uso de componentes poco

industrializados(artesanales) y la fragmentación de los procesos de diseño - construcción; esto hace imposible entonces poder definir el producto con el nivel de detalle necesario en un proceso industrial.

1.1.2.2. Defectos del diseño tradicional:

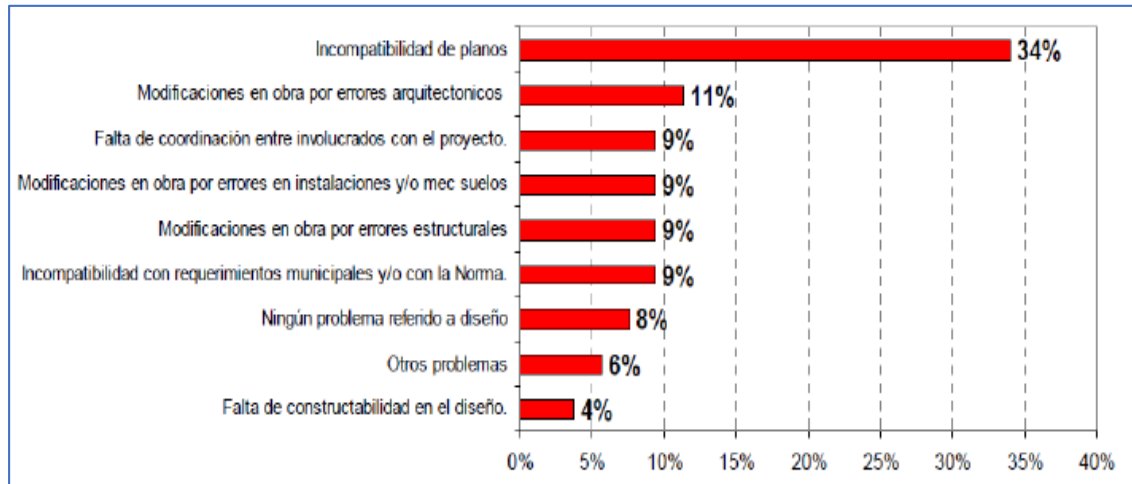


Figura 1.2. Mayores problemas que ocurren durante una obra debido a un mal diseño
Fuente: Elaborado con información de Costos Educa (2018) y Vásquez (2005)

Freire y Alarcón (como se citó en Pailiacho, 2014), describen que las principales categorías de pérdidas en el proceso de diseño son:

- Ignorancia de los requerimientos del cliente.
- Burocracia y trabajos basados en el papel.
- Problemas de coordinación interdisciplinaria.
- Información no disponible.
- Trabajo rehecho.

También, estudiaron la distribución del tiempo en los procesos de diseño (desde el inicio a la obtención final de planos y especificaciones) y además calcularon el tiempo de espera en estos procesos (periodos de tiempo en que la actividad es detenida), para cada categoría. Los resultados se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 1.1: Distribución del tiempo y tiempos de espera en los procesos de diseño.

Categorías	Duración (%)	Tiempo de Espera (%)
Diseño	50,2	8,3
Verificando Información	8,2	4,0
Recolectando Información	28,1	21,0
Corrigiendo Información	12,2	7,1
Emanando Información	1,4	0,0

Fuente: Elaborado con información de Pailiacho (2014) y Freire y Alarcón (2002).

En esta tabla se puede observar que gran parte del tiempo es utilizado recolectando información (casi un 30% del tiempo), y de este tiempo, la quinta parte (21%) es perdido por esperas en el proceso.

Muchas veces el diseño del proyecto pasa a la etapa de construcción con un diseño no optimizado y con interferencias entre especialidades, obligando a la constructora a asumir el liderazgo en revisar y rectificar, y lo que es más crítico, que esta revisión se da muchas veces en plena construcción del proyecto, lo cual podría incidir negativamente en los plazos y costos. Esta situación, exige la aplicación no solo de herramientas eficaces de gestión y planificación en la construcción, sino también de una adecuada revisión, compatibilización y realimentación del diseño del proyecto antes de llegar a la etapa de construcción (Taboada et al., 2010).

1.1.3. Problemas en la etapa de construcción:

Las pérdidas más frecuentes son el rehacer trabajos, detenciones, retraso de actividades y errores (defectos de obra); y entre las fuentes más frecuentes de estas pérdidas se encuentran cambios de diseño, información atrasada, mala planificación e información poco clara.

Las causas de no cumplimiento de las actividades se deben principalmente a la mala planificación, tenemos además la falta de mano de obra, incumplimiento de subcontratistas y la falta de materiales.

La adopción del modelo Diseño/Licitación/Construcción, es una de las causas y fuentes principales de los problemas de diseño, ya que interrumpe las dos etapas más importantes para la entrega de proyectos, la de diseño y construcción, además de exigir una poca interacción y comunicación entre los demás especialistas encargados del proyecto por falta de liderazgo que busque la integración holística o total del proyecto en la etapa de diseño. James Koch (como se citó en Taboada et al., 2010).

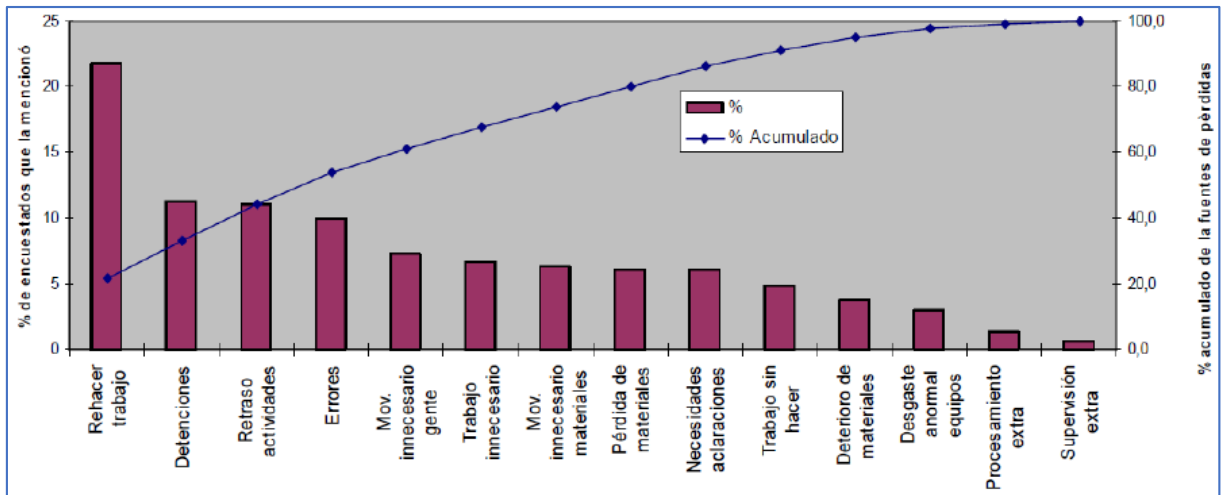


Figura 1.3. Pérdidas más frecuentes.
Fuente: (Saldías, 2010)

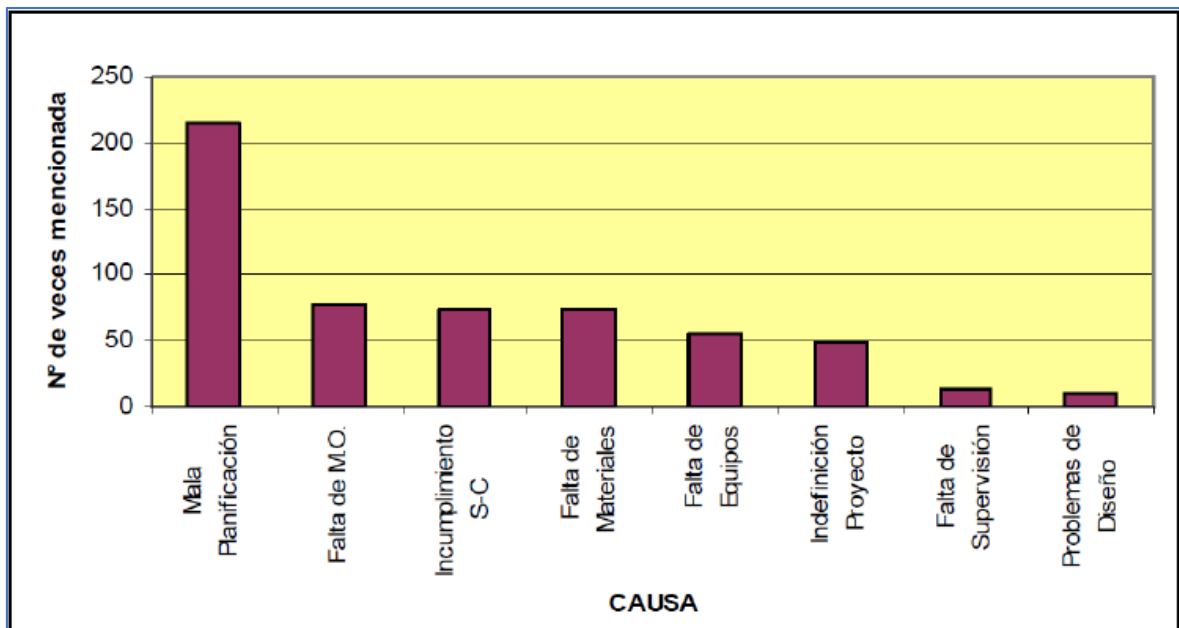


Figura 1.4. Causas de no cumplimiento.
Fuente: (Saldías, 2010).

1.1.4. Flujos de Información en el Ciclo de Vida del Proyecto.

En cada etapa del proyecto se produce y utiliza información, que a la vez se remite o trasmite a las otras etapas. Existen distintas formas en que la información es transferida, dependiendo del tipo, complejidad, envergadura del proyecto, del contexto en que esté, entre otras (Pailiacho, 2014).

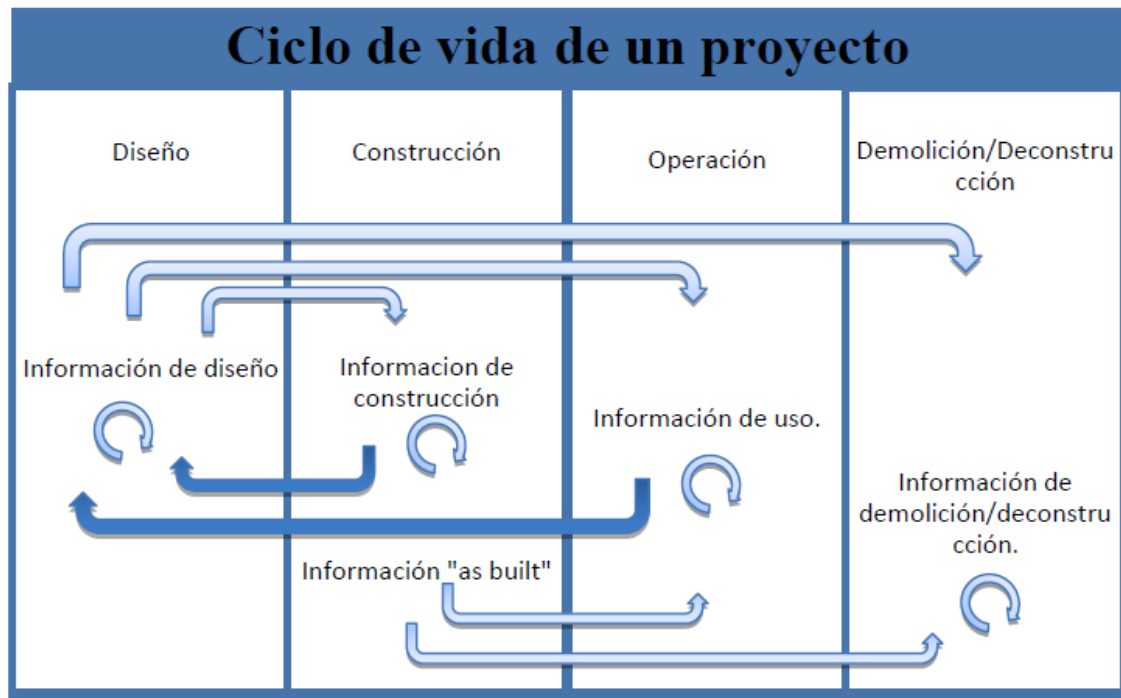


Figura 1.5. Flujos de información en el ciclo de vida de un proyecto.

Fuente: (Pailiacho, 2014)

La información que generalmente se transmite/remite durante el ciclo de vida del proyecto es la siguiente:

- En la etapa de diseño el ingeniero de procesos u otro especialista capacitado interpreta las necesidades y objetivos del cliente, plasmándolas en adecuados espacios y formas, definiendo los elementos que se utilizarán junto con la posición y forma de estos.
- Las distintas especialidades se involucran para determinar el tipo de material a utilizar (Información de Diseño), datos que se plasman en planos y especificaciones que luego se transmiten a la etapa de construcción, a la de operación (en el caso que se quiera hacer el mantenimiento) o la de demolición.
- En la etapa de construcción, al cliente le interesa información del plazo de ejecución y del costo real de la obra, de la calidad de la infraestructura, de las especificaciones de los equipos instalados, etc. (Información de Construcción).
- Los planos "as-built" (como se construye) es información que se transmite a las etapas de operación y de demolición, los requerimientos o solicitudes de aclaración, es información que se trasmite a diseñadores.
- En la etapa de operación se necesita información de modificaciones de diseño que se hayan hecho a la estructura en etapa de construcción, instrumentación de la edificación definida en la etapa de diseño. y se genera información de la operación y el mantenimiento de la instalación (Información de Uso).

- En la etapa de demolición/deconstrucción, es un concepto relativamente nuevo que tiene que ver con la reutilización de los materiales de la obra construida en vez de demoler; se necesita información de los cambios hechos, si se construyó con material prefabricado (para una posible reutilización), de las cantidades de obra (para evaluar el costo en el transporte de los desechos), calidad del material utilizado y el diseño estructural de la infraestructura, etc.

1.1.5. Flujos de Información entre Actores del Proyecto

Las relaciones y vínculos entre los distintos actores, y por ende los procesos y flujos de información entre estos, también dependerán del tipo de proyecto y de la estrategia contractual definida por el cliente. Los participantes (directos e indirectos) en un proyecto de construcción en general son el cliente, diseñadores: arquitecto, calculista, eléctricos, sanitarios, mecánicos, entre otros; los fabricantes, proveedores, constructores (contratista general y subcontratistas), supervisión, ingenieros hidráulicos, topógrafos, geólogos, ambientalistas, ingeniero de seguridad, etc, usuarios y entidades externas (instituciones financieras, reguladoras y normativas), y la comunidad en general (Saldias, 2010).

1.1.6. Problemas de Documentación, Información y Comunicación

1.1.6.1. Comunicación y Coordinación

Flujos de información inadecuados, descentralizados y basados en el papel contribuyen a los múltiples desafíos que a menudo afligen a los proyectos de construcción, la pobre comunicación entre organizaciones es la principal causa de los múltiples problemas ocurridos durante el ciclo de vida del proyecto y tiene el mayor impacto en el costo, la duración, el alcance y la calidad de este (Saldias, 2010).

La complejidad del problema de la comunicación no sólo reside en el tipo de proyecto, sino que, en la inherente naturaleza de estos. Incluso el proyecto de construcción más básico requiere que la información fluya dentro y entre las organizaciones. Internamente, ejecutivos, gerentes de proyecto, financistas y el departamento legal crean, revisan, administran y aprueban documentos relacionados con el proyecto. Una vez que el proyecto esta completado, estas organizaciones también deben administrar, operar y mantener las instalaciones, donde necesitan información que incluye planos as-built, plantas de espacios, especificaciones de equipos, garantías, etc. Por otro lado, gestionar la información del proyecto en forma interna es sólo la mitad de la batalla, usualmente la mitad fácil. Muchas organizaciones encuentran más difícil asegurar una comunicación efectiva entre las compañías involucradas en el proyecto. Un proyecto demanda comunicaciones externas con clientes, agencias de gobierno, ingenieros, consultoras, constructores, subcontratistas, abogados, inversionistas, proveedores, y muchos más.

- **Comunicación interna - problemas de interpretación:**



Figura 1.6. Típica situación.

Fuente: (Saldias, 2010).

Por ejemplo, en la figura 1.1, el Administrador de Obra (1) está explicando a los integrantes de la oficina técnica el programa de trabajo semanal y cada receptor interpreta la información en forma distinta, al estar cada uno preocupado de lo que debe hacer: (2) del Control de Costos; (3) de las Cantidades de obra; (4) de los Contratos con subcontratistas; (5) de la Logística e Información Geoespacial.

- **Comunicación externa – problemas de entendimiento entre los participantes del proyecto:**

Los profesionales de la construcción utilizan planos, especificaciones en papel, diagramas Gantt, etc. para predecir, entender y comunicar el alcance y el desempeño de sus proyectos. Esta forma de trabajo no es la más eficaz para planificar, controlar y coordinar las actividades, en particular en proyectos de gran envergadura que contienen mucha información y proyectos complejos, donde existen muchas iteraciones y modificaciones en su diseño, cambios que se desarrollan incluso en la etapa de construcción causando costos cuantiosos para el cliente. Con estas herramientas (planos, especificaciones en papel, etc.), existe un difícil entendimiento entre el cliente y los demás actores, quien aprueba el diseño, causando incertidumbre en todas las fases siguientes del proyecto (Saldias, 2010).

1.1.6.2. Disponibilidad y Confiabilidad de la Información del proyecto

Gran parte de los proyectos no cuentan con un almacén central de datos donde se organice y ordene la información de tal forma que cualquier profesional pueda acceder en forma rápida a información confiable. La información no está concentrada en un solo lugar, sino que

aparece en distintos sitios y generalmente con inconsistencias, causando, por ejemplo, retrasos para gestionar los pedidos: no saber qué pedir, cuánto pedir, ni cuándo hacerlo o hacer juicios apresurados y erróneos. Todo esto se refleja en demoras, baja calidad y costos extras.

La poca precisión de la información le resta confiabilidad a los procesos que ocurren en la construcción, principalmente en materias relativas a las cantidades y costos reales de la obra. Por ejemplo, la mayoría de las veces se utiliza el escalímetro, la calculadora, el lápiz y papel, para la obtención de las cubicaciones del proyecto, proceso lento y de poca precisión. Además, hay un doble trabajo, ya que una vez ganada la licitación, el contratista cubica nuevamente la obra (no confía en la precisión de las cubicaciones calculadas durante la licitación) (Saldías, 2010).

1.1.6.3. Calidad del proceso de toma de Decisiones

En la actualidad los profesionales de la construcción toman la mayoría de sus decisiones durante la etapa de construcción del proyecto. Existe poca cultura para desarrollar un trabajo multidisciplinario anterior a la ejecución del proyecto donde se converse de los posibles problemas, se hagan análisis de constructabilidad y donde se puedan desarrollar escenarios “que pasaría si”, previo a la construcción, necesario para tomar decisiones eficientes en el futuro.

Por otro lado, muchas veces los profesionales no cuentan con la cantidad y calidad de información necesaria para tomar decisiones correctas y rápidas, los administradores de proyectos tienen muchas interrupciones y a menudo deben atender requerimientos urgentes (tiempo dedicado a “apagar incendios”) que les impide terminar su propio trabajo. Alarcón y Pavez (como se citó en Pailiacho, 2014).

Un interesante análisis es el que se muestra en la figura 1.2, se observa que la toma de decisiones en etapas tempranas del proyecto mejora la habilidad de controlar costos, es decir, en un diseño “inteligente” la idea es trasladar el esfuerzo a la etapa de diseño donde los costos por cambios del diseño de la edificación no son tan cuantiosos. Actualmente, la toma de decisiones más importantes del proyecto se hace en la etapa de construcción, dónde los cambios son sumamente costosos.

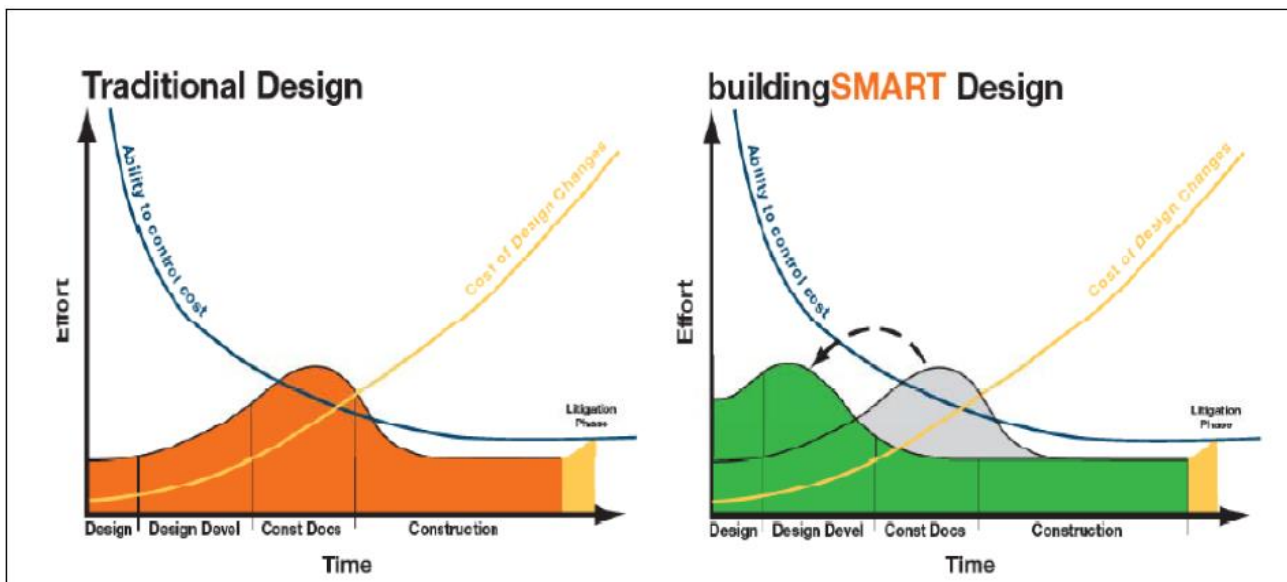


Figura 1.7. Potencial para influir en el costo final.

Fuente: (Saldias, 2010)

En resumen, se puede afirmar que los principales problemas en la industria de la construcción tienen su origen o están relacionados con el diseño, la gestión de información y la planificación de recursos.

Como parte de la solución a los problemas complejos del desarrollo de proyectos surge una herramienta tecnológica relativamente nueva en el Perú, denominada BIM (Building Information Modeling). Sin embargo, la implementación de BIM en el país se encuentra en fase inicial, la adopción la han realizado, fundamentalmente, las empresas constructoras más grandes y las principales gerencias de proyectos. Las empresas inmobiliarias están terciarizando servicios de modelado BIM, pero existe también un gran grupo de empresas medianas que en su mayoría no han adoptado BIM, seguidas por empresas de servicios de diseño (arquitectos e ingenieros) que siguen aún más rezagadas en este proceso (GRUPO S10, 2017).

Menos del 5% es el número de empresas asociadas al sector construcción que actualmente están utilizando BIM, 3 de cada 10 empresas peruanas, tienen pensado implementar esta filosofía en sus proyectos, algunas empresas, lo vienen integrando dentro de su plan estratégico, con el fin de desmarcarse de la competencia. Otras vienen haciendo pilotos con el fin de concientizar y ver los resultados que se pueden obtener (GRUPO S10, 2017).

La mayoría de empresas que adoptan BIM están concentradas en Lima, existiendo cientos de constructoras e inmobiliarias en provincias de las que no se tiene mucha información. Afirma que son varias las dificultades que hay que afrontar. La primera es el desconocimiento de lo que realmente es BIM y de lo que se puede hacer por el proyecto. Otro escollo es la falta de innovación, algo que debe contrarrestarse desde la academia, promoviendo investigación y estudios técnicos. También destaca la falta de estándares Quiroz (como se citó en GRUPO S10, 2017)

Si bien la implementación de BIM, ha sumado una mejora en la gestión de proyectos de edificación, se presentan dificultades al momento de generar el cambio en los estilos de trabajo, se percibe una desaceleración en la implementación por diferentes factores, se sigue sin demostrar un claro beneficio en el sector de la construcción (GRUPO S10, 2017). Posteriormente, surge la metodología Virtual Desing and Construction (VDC), para realizar una mejor gestión de la información que obtenemos con BIM.

En el sector construcción, el uso de la tecnología BIM, aun no es conocido en todo su campo y no se ha apreciado su potencial, por ello, es necesario preguntarnos.

1.1.7. Formulación del problema de investigación:

¿Es posible proponer una metodología para implementar las tecnologías VDC/BIM en la etapa de diseño de los proyectos de edificación?

1.2 JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA DE LA INVESTIGACIÓN

Es conocido por todos que la productividad y nivel de industrialización del sector construcción se ha mantenido a nivel muy por debajo de los estándares de otros sectores productivos. El uso de la tecnología imprecisa y artesanal no proporciona el nivel de detalle, ni la visualización óptima del modelo, esto hace que no se tenga una percepción clara y correcta de como planificar la construcción de una edificación, ocasionando atrasos y entrega de obra fuera del plazo establecido (Costos Educa, 2018).

Las incompatibilidades de los planos, en las diferentes especialidades del proyecto, la falta de coordinación e integración, entre los distintos involucrados con el proyecto, hace imposible poder minimizar las modificaciones o cambios en obra, incumpliendo con los objetivos del proyecto y del cliente.

La importancia de plantear una propuesta de implementación de la tecnología BIM, llevado de la mano con la aplicación de la metodología VDC (Virtual Design and Construction, en la etapa de diseño, radica en mejorar la elaboración de los documentos del proyecto, en optimizar el intercambio de información entre los distintos involucrados en el proyecto, anticipando problemas enmarcados en etapas posteriores al diseño, en mejorar la productividad, y sustituir progresivamente el uso de la tecnología artesanal y tradicional, CAD 2D, por herramientas BIM y procesos VDC.

La implementación de estas tecnologías, tiene como beneficiarios a las grandes, medianas y pequeñas empresas constructoras, las empresas de consultorías, los proveedores y subcontratistas, los profesionales enmarcados en este rubro y todos aquellos que directa o indirectamente laboran en el sector construcción.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo general:

Proponer una metodología para implementar las tecnologías VDC/BIM en la etapa de diseño de los proyectos de edificación.

1.3.2 Objetivos específicos:

- Presentar la situación actual de la adopción de BIM en el Perú.
- Recopilar información de distintas fuentes bibliográficas, que hayan elaborado guías de implementación, protocolos o formatos de las metodologías VDC/BIM.
- Definir los procesos de implementación, así como también a los actores y tareas involucrados en estos procesos y organizar cada una de las partes.
- Identificar las técnicas y herramientas tecnológicas, más idóneas que ayuden en la optimización de tiempo y recursos.
- Integrar los procesos, las técnicas y herramientas definidas.

CAPITULO II: MARCO TEORICO

2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

Las empresas tipo de América Latina, ya han tenido contacto con lo que son las tecnologías BIM y lo que implican, sin embargo, a pesar de conocer el software, haber trabajado en la motivación y desarrollo de liderazgo para la implementación, no conocen cómo deben estructurarse y enfocarse los procesos de implementación y diseño (Montellano, 2013). Por consiguiente, las principales barreras para la implementación BIM en las empresas peruanas son la resistencia al cambio, la ansiedad por alcanzar resultados inmediatos, la falta de conocimiento respecto de qué y cuál es su potencial, los costos de implementación y las malas experiencias por intentos fallidos debido a la falta de experiencia (Farfan & Chavil, 2016) .

(Farfan & Chavil, 2016) dicen que las empresas lo que hacen en realidad es subcontratar el modelado del proyecto para temas de marketing, siendo empleado solo como un modelo 3D, mas no como una herramienta tecnológica con el potencial de solucionar muchas de las problemáticas que afronta la industria de la construcción. En el Perú ya se han hecho intentos de implementación BIM en casi todo tipo de proyectos comenzando por las de edificaciones, carreteras, centrales hidroeléctricas y plantas industriales lo que es un punto fuerte como fomento de esta metodología, aunque también como un punto débil debido a las malas experiencias por intentos fallidos que traen como consecuencia un mayor y más extensivo rechazo al cambio.

Las herramientas tecnológicas que se utilizan actualmente en los proyectos de edificaciones en nuestro país y las formas tradicionales de trabajo no han podido dominar las dificultades que conlleva gestionar una gran cantidad de información y personas. La mayoría de proyectistas no tienen el conocimiento sobre la duración total de la etapa de diseño del proyecto en el que han participado, solo saben la duración en meses que los lleva terminar el diseño de su especialidad, es decir, aún se realiza el diseño fragmentado de las diferentes especialidades involucradas en un proyecto de construcción (Ruiz, 2015).

Eyzaguirre (como se citó en Jara, 2017), afirma que la industria de la construcción se encuentra rezagada respecto al nivel tecnológico y de seguir así mantendrá su gradual pérdida de productividad. En el Perú se evidencia poca motivación por invertir en investigación y un paulatino desarrollo del sector construcción. Los avances se han dado gracias a las mejoras en los flujos y procesos constructivos, sin embargo, se ha dedicado muy poco trabajo a una implementación o mejora de tecnologías de gestión, las cuales ya se aplican en otros países desarrollados con éxito. Menarez (como se citó en Jara, 2017), piensa que esa falta de innovación tecnológica sumada a una ineficiente gestión desde etapas tempranas y a una inadecuada planificación y control de proyectos, nos lleva a incurrir a problemas que son bien conocidos por el sector durante la etapa de ejecución las cuales son: incumplimiento de los plazos, sobre costos, baja productividad, insuficiente en la calidad, etc. Por tanto, Mc Leamy (como se citó en Jara, 2017) expresa que las etapas iniciales del gerenciamiento de proyectos, y específicamente la gestión del diseño es fundamental pues los mayores esfuerzos por optimizar

y compatibilizar el diseño y sus documentos deben surgir en esta, ya que en esta etapa donde hay un mayor control sobre cualquier cambio que pueda surgir en el proyecto, representando consecuentemente un costo mucho menor, pues es en la fase de construcción donde todo cambio cuesta más.

En la etapa de diseño no todos los requerimientos son identificados desde el comienzo, particularmente por la no participación de la experiencia constructiva desde etapas tempranas, poca claridad de los requerimientos del cliente y la pobre comunicación, coordinación y colaboración entre las especialidades. Los errores de diseño se detectan en fases posteriores, conduciendo a altos costos por trabajos rehechos. Gran parte del tiempo de diseño (30%) es utilizado en recolectar información, la cual muchas veces presenta fallas, no está completa y/o no está actualizada. Además, la quinta parte de este tiempo es perdido por esperas en el proceso (Saldias, 2010). La principal barrera o desafío para implementar la propuesta de técnicas y herramientas durante la etapa de diseño, es la preparación de protocolos de trabajo y estándares de modelación que deben seguir los participantes del proyecto (Ruiz, 2015).

Por lo tanto, Montellano, (2013) crea una guía para la implementación y trabajo bajo tecnologías BIM, en una empresa, en él se indica que una exitosa implementación de las tecnologías BIM depende mucho del trabajo realizado por los recursos humanos dentro de la organización, los primeros pasos, que deben ser dados por los directivos y gerencia, son extremadamente importantes pues determinan la meta y los objetivos a lograr con estas tecnologías. Las tecnologías BIM permiten mejorar la comunicación entre socios de negocio, mejorando la calidad de la información disponible para la toma de decisiones, mejorando la calidad de los servicios entregados, reduciendo el tiempo de los ciclos de trabajo y reduciendo costos en toda etapa del ciclo de vida de los edificios (construcciones). Los cambios deben afectar a toda la empresa y no habrá persona que no vea su puesto afectado por la implementación de las tecnologías BIM. Dependiendo de la naturaleza de la empresa y de cuales sean sus actividades generadoras de valor se debe escoger el software adecuado para las tareas, pues sobre este se realizarán los procesos de diseño. Podemos decir que después de la voluntad de implementar las tecnologías BIM, los tres puntos principales son: re-diseño de los procesos de diseño, capacitación del personal e implementación del software y hardware.

Salinas & Ulloa, (2014) propone seis fases, para la mejora del proceso de diseño : Coordinación de especialidades, modelado BIM de estructuras y arquitectura, sesiones de trabajo para la resolución de incompatibilidades de estructuras y arquitectura, Modelado BIM de instalaciones eléctricas, instalaciones sanitarias e instalaciones mecánicas, sesiones de trabajo para la resolución de incompatibilidades de instalaciones eléctricas, instalaciones sanitarias e instalaciones mecánicas, sesiones de trabajo con proveedores y sub contratistas. Como herramientas en la implementación de BIM para la generación de la información, se propone utilizar el software Revit 2019 que involucra a Revit Structure, Revit Architecture, Revit MEP y complementariamente Navisworks.

Así mismo, Almonacid, Navarro , & Rodas (2015) plantean la participación de los proyectistas, contratistas e ingenieros, en la etapa de diseño del proyecto lo cual llevará a la generación de cambios en el diseño en una etapa temprana. Proponen la inclusión de las sesiones ICE (Ingeniería concurrente integrada), esta, genera una mejor comunicación entre especialidades e involucrados del proyecto, dando como resultado el enriquecimiento del modelo del proyecto.

Concluyen que, la visualización anticipada del proyecto, intercambio de información y colaboración entre especialidades a través de un modelo en el que se pre construye la edificación, el modelo toma un rol protagónico en el desarrollo del proyecto, ya que se convierte en una herramienta importante, no solo para identificar conflictos, sino para la revisión de criterios de diseño, análisis, constructabilidad, metrados y adecuada funcionabilidad entre las especialidades.

En síntesis, con BIM los distintos actores pueden acceder a un modelo central, que posee información del proyecto clara, precisa, oportuna y completa, donde se puede visualizar gráficamente lo que será construido. La construcción del modelo fuerza a los diseñadores a trabajar de una forma más colaborativa, coordinada e integrada, vinculando idealmente a constructores y al cliente en reuniones de diseño, mejorando la toma y la calidad de las decisiones, y reduciendo las potenciales pérdidas (Saldías, 2010).

Farfán y Chavil, (2016) recomiendan que durante la implementación BIM, no se genere una gran “teoría” para llevarla a cabo, sino que esta debe desarrollarse de manera gradual de tal forma que el impacto del cambio no genere un rechazo sino una transición casi natural. Si se implementa BIM de manera constante y sostenida en un proyecto y poco a poco se va integrando a los demás involucrados, existirán mayores probabilidades del éxito en su implementación. Mientras más temprano se realiza un cambio, realizarlo costará menos esfuerzo, es decir, la implementación del BIM debe apuntar a etapas tempranas del ciclo de vida del proyecto. Para el éxito de la metodología propuesta es necesario realizar capacitaciones en el uso de las herramientas BIM, así como la existencia del compromiso de la gerencia y de los principales involucrados (Almonacid et al., 2015).

Entre el año 2000 y 2002, el Centro de Excelencia en Gestión de la Producción de la Pontificia Universidad Católica de Chile (GEPUC) desarrolló un estudio para establecer un diagnóstico global de las pérdidas más frecuentes en la industria de construcción. Como resultado de esta investigación, se identificaron como las pérdidas más frecuentes el rehacer trabajos, detenciones, retraso de actividades y errores o defectos durante la etapa de construcción. Además, entre las fuentes más frecuentes de estas pérdidas se mencionaron los cambios de diseño, información atrasada, mala planificación e información poco clara (Ruiz, 2015).

Con la tecnología BIM, se minimiza las deficiencias de diseño, buscando una construcción sin pérdidas, el siguiente paso para lograrlo, es la industrialización de procesos, con mayor tendencia a las instalaciones prefabricadas a las cuales no podremos llegar si antes no se ha coordinado la ingeniería. Los planos de fabricación o de taller deben salir de un modelo previamente coordinado, un modelo de instalaciones que genere confianza de que no va a sufrir cambios o modificaciones en campo. BIM provee un modelo exacto del diseño requerido para cada sector del proyecto. Esto puede proveer las bases para mejorar el planeamiento y programación de obra y ayudar a asegurar la llegada justo a tiempo (just-in-time) de personas, equipamiento, y materiales (Alcántara, 2013).

BIM es una tecnología innovadora que permite diseñar tridimensionalmente desde el inicio del proyecto e incorpora en el modelo la información de cada uno de los elementos que componen este proyecto: ubicaciones, costos, tiempo, integración de los proyectos de especialidades y todo tipo de documentación que se considere relevante compartir y comunicar a los distintos actores que participan en las distintas etapas del proyecto. Es importante destacar que el

concepto BIM está aún en discusión. Existen distintos estudios desarrollados por variados grupos de interés que han fomentado distintos nombres, que en teoría pueden tener enfoques distintos, pero que en la práctica apuntan a lo mismo: mejorar la gestión de los proyectos de construcción utilizando modelos virtuales inteligentes. Está VDC (Virtual Design and Construction) propuesto por el CIFE “Center for Integrated Facility Engineering” de la Universidad de Stanford en EEUU, Modeling por la Universidad de Salford del Reino Unido y BIM nombre fomentado principalmente por empresas de software (Saldias, 2010).

Alarcón (como se citó en Pailiacho, 2014) dice, VDC (Virtual Design and Construction) se trata del uso de un entorno virtual que permite una interacción de múltiples actores en tiempo real para compartir información y tomar mejores decisiones durante sus distintas etapas de desarrollo. Es un proceso en que se genera y principalmente administra una base de datos centralizada, una modelación de la obra con información que facilita y optimiza la manera de crear el proyecto. El emplear tecnología VDC-BIM requiere de un pequeño grupo operador de las herramientas de la plataforma empleada, pero con una alta capacitación especializada en el manejo de los programas, así como un grupo directivo técnico de ingeniería, experto en cada una de las disciplinas involucradas en el proyecto, para coordinación, así como encargado de proporcionar los criterios y decisiones a los operadores de la paquetería, para que el modelo simule adecuadamente el comportamiento físico y funcionamiento de las instalaciones de la edificación. La metodología VDC-BIM, por tanto, surge como una nueva alternativa, con proyección a establecer una nueva forma de llevar a cabo los proyectos de edificación, donde el manejo de la información hoy en día de manera oportuna, eficaz y congruente, se ha vuelto una ventaja altamente competitiva en el ámbito de la ingeniería civil como en muchas otras áreas, es por ello que la innovación que conlleva esta nueva tecnología, permite a los actuales y futuros ingenieros nuevas oportunidades de crecer profesionalmente (Pailiacho, 2014).

Una innovación que está cobrando bastante relevancia en la industria es Virtual Design and Construction (VDC) cuyo propósito es alcanzar los distintos objetivos de negocio, mediante un entorno sostenido por procesos de trabajo, Tecnologías de la información como BIM y una ingeniería concurrente integrada (ICE); permitiendo coordinar las distintas disciplinas y evaluar virtualmente que tan bien se ajusta el diseño a los múltiples objetivos del proyecto generando que la comunicación e información entre los involucrados sea más eficiente, colaborativa e integrada. Es necesario seguir una estrategia que involucre sistemas, procesos, equipos multidisciplinarios e información integrada, para poder lograr altos niveles de performance en los proyectos. Pero en el caso peruano la aplicación de VDC/BIM en la coordinación de especialidades en la etapa de gestión del diseño durante el gerenciamiento de proyectos es escaso y la falta de resultados e investigaciones que demuestren sus beneficios y los procesos que deben seguir la organización (involucrados del proyecto) para una adecuada gestión con estas herramientas contribuyen a que no se apueste a este tipo de metodologías y se continúe con las tradicionales (Jara, 2017).

El conocimiento de los beneficios de esta filosofía integral va más de los aspectos meramente arquitectónicos. BIM puede proporcionar una solución a los problemas de comunicación, tanto de información como de interacción de las personas involucradas en el equipo de trabajo: Diseñadores, Dueños y Contratistas. Así mismo es importante definir la potencialidad del paradigma que ofrece BIM, así como la implementación de objetos en CAD arquitectónico, a la par con la implementación de herramientas o metodologías que puedan hacer posible el intercambio de información no gráfica entre ellas. El edificio a construir ya no debe considerarse

como un conjunto de planos en 2D, sino en objetos que contengan información en más dimensiones. Sistemas basados en BIM ofrecen beneficios que dependen del nivel de comprensión sobre los modelos que se producen, por parte de cada miembro del equipo de trabajo. Al poner más atención a los problemas potenciales que se podrían presentar en la obra al momento del diseño, harían de estos sistemas integrados más exitosos en el futuro, tanto desde el punto de vista económico, como de ahorro de tiempos por causas de retrabajos (Baeza & Salazar, 2005).

2.2 BASES TEÓRICAS

2.2.1 Virtual Design and Construction (VDC)

La metodología del Diseño Virtual de la Construcción o VDC por sus siglas en inglés Virtual Design Construction, se viene imponiendo como la forma más adecuada de obtener mejores proyectos, en un tiempo y costo menor al previsto y con mayor calidad a lo esperado. Y es que, la ventaja que representa el tener toda la construcción totalmente modelada antes de ni siquiera haber empezado no tiene precedentes en nuestra industria en el mundo entero. Además, el costo comparativo de obtener este resultado versus lo que cuesta implementarlo es totalmente marginal, casi inexistente, comparado con los montos de inversión de un proyecto y los beneficios que se obtienen a través de su correcta utilización. VDC es una metodología que permite asegurar los objetivos del proyecto (métricas para su medición) mediante la organización adecuada de todos los involucrados (ICE: Ingeniería Concurrente Integrada) utilizando tecnología BIM y un proceso Lean de producción (PPM) (Center for Integrated Facility Engineering, s.f.).

El uso de prototipos digitales y tecnología de la información en proyectos de diseño y construcción necesita un orden que permita establecer claramente los objetivos de negocio. Es así como para realizar una mejor gestión de la información que obtenemos con BIM surge la metodología Virtual Design and Construction (VDC) (Costos Educa, 2018).

Según Kunz y Fischer (como se citó en Almonacid et al., 2015) los pilares fundamentales del VDC son:

- Gestionar la evolución del producto final a través del Building Information Modeling – BIM.
- Gestionar procesos y producción
- Gestionar la organización del proyecto y la interacción entre equipos multidisciplinarios.
- Gestionar la ejecución del proyecto por objetivos a través de indicadores de performance.

2.2.2 Building Information Modeling (BIM)

Building Information Modeling (BIM) es un concepto, que tiene como objetivo reunir la información de un proyecto en una sola base de datos, completamente integrada e interoperable, que pueda ser utilizada por todos los miembros del equipo de diseño y

construcción, y al final por los propietarios y operadores a lo largo de su ciclo de vida. Chapple (como se citó en Taboada et al., 2011).

BIM facilita una nueva forma de trabajar: la creación de diseños con objetos inteligentes. Independientemente del número de veces que se realicen cambios, la información del diseño sigue siendo coherente, coordinada y más precisa a través de todos los interesados (Ruiz, 2015).

2.2.3 Concepto VDC/BIM

Esta metodología de modelaje está conformada por herramientas, procesos y tecnologías, para llevar a cabo un proyecto integral de edificación, desde su concepción hasta el final de su vida útil, coordinando el ambiente multidisciplinario, donde participan inversionistas, propietarios, arquitectos, ingenieros estructurales, ingenieros de instalaciones, ingenieros de obra, fabricantes, gestores y en general, todos aquellos involucrados que tienen que ver con el diseño, construcción y operación del proyecto. Esta coordinación se logra mediante una plataforma tecnológica que integra varios programas de software especializados, trabajando en conjunto sobre una única base de información, lo cual permite tener un intercambio de datos en tiempo real de manera coherente, precisa y completa, mejorando así aspectos como son la eficiencia y efectividad (Pailiacho, 2014).

2.2.4 Aplicaciones de BIM/VDC a lo largo del ciclo de vida de un proyecto

Tabla 2.1. Aplicaciones de BIM/VDC a lo largo del ciclo de vida de un proyecto.

	DISEÑO CONCEPTUAL	DISEÑO DETALLADO	CONSTRUCCIÓN	OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO
APLICACIONES	-Concepto, viabilidad y diseño. -Evaluación temprana de alternativas de diseño para aumentar la calidad general del proyecto	-Visualización. -Participación temprana de los involucrados. -Ingeniería concurrente. -Colaboración y comunicación efectiva entre múltiples disciplinas de diseño. -Detección de incompatibilidades. -Generación automática de planos y documentos. -Estimación de costos. -Generación y evaluación rápida de múltiples alternativas. -Simulación y análisis del producto.	-Estimación de la cantidad de materiales. -Planificación y control de la producción/. -Simulación 4D. -Detección de incompatibilidades antes de la construcción. -Visualización del proyecto. -Uso del modelo como base para fabricar componentes. -Soporte en la implementación de técnicas y herramientas Lean. -Sincronización del abastecimiento con el diseño y construcción	-Fuente fiable de información sobre el proyecto Asbuilt. -Administración y operación de instalaciones

Fuente: (Ruiz, 2015)

2.2.4.1 BIM durante la etapa de diseño

- Visualización:

Ya sea en una forma estética como funcional, los sistemas BIM ofrecen la posibilidad de hacer los modelos con cierto grado de realismo pudiendo exportar vistas en 2D (Plantas, cortes, elevaciones, detalles, etc.), en 3D (isométricas, perspectivas, renders), en 4D (simulaciones de construcción) y 5D (estimaciones de costo). Esto permite que el diseño de un edificio sea más comprensible por parte de todos los involucrados del proyecto, incluso si no cuentan con conocimiento técnico sobre el tema (Ruiz, 2015).

- Participación temprana de los involucrados del proyecto:

Como ejemplo de los beneficios de la participación temprana, los contratistas pueden contribuir a diseñar el producto y proceso del proyecto al proporcionar información específica de la construcción durante la etapa de diseño. De esta manera, se puede realizar un análisis de la constructabilidad durante el diseño (Ruiz, 2015).

- Mantenimiento de la información y la integridad del diseño:

Esta capacidad se logra porque los programas BIM están basados en elementos y parámetros que permiten almacenar la información. Al ser modificado una de las características de algún elemento, esta será actualizada automáticamente en las diferentes vistas en las que se encuentra (elevaciones, cortes, en planta y en 3D), de esta manera las incompatibilidades que se presentan usualmente entre las vistas en planta y corte en una disciplina serán eliminadas (Ruiz, 2015).

- Detección de incompatibilidades:

La revisión de interferencias es el principal uso que se les da a los modelos BIM, especialmente en proyectos que involucran una infraestructura compleja. Este análisis reduce las incompatibilidades y las ordenes de cambio, lo que aumenta la productividad y reduce costos durante la etapa de construcción (Saldías, 2010).

- Estimación de costos:

Un modelo BIM adecuadamente desarrollado contiene la información geométrica y las propiedades de los elementos presentes, por lo que puede ser utilizada como una base de datos para extraer cantidades de materiales y reemplazar a los cálculos manuales desarrollados a lo largo de todo el proyecto, ya sea para obtener el presupuesto como también para pedir los volúmenes de materiales que serán utilizados en una determinada fecha. Fuentes (como se citó en Ruiz, 2015).

- Simulación y análisis del producto:

Evaluar el diseño usando las tecnologías CAD tradicionales y herramientas relacionadas puede ser proceso largo y tedioso. BIM ofrece la oportunidad de simular el modelo del diseño en contra de los criterios de rendimiento que figuran desde una etapa temprana como: comportamiento estructural, desempeño térmico, iluminación, acústica, desempeño energético y sostenibilidad. De esta manera se puede asegurar que el diseño sea adecuado para el propósito, mejorar el valor para el cliente y reducir pérdidas debido a mal funcionamiento del producto durante su operación (Ruiz, 2015).

2.2.4.2 BIM durante la etapa de construcción:

- Estimación de la cantidad de materiales:

La estimación de la cantidad de materiales con BIM, comúnmente conocida en nuestro medio como metrados, ofrece una nueva forma de trabajar, pues estos pueden ser obtenidos directamente de un modelo BIM después de finalizada la etapa de modelado 3D. Esto es razonable ya que los modelos BIM representan una fuente de información y una base de datos, y todos sus componentes, de acuerdo con su geometría, tienen asociados distintos parámetros de cantidad de materiales que pueden ser extraídos del modelo BIM, generando hojas reportes de las principales partidas de materiales de un presupuesto (Alcántara, 2013).

- Detección de conflictos

La construcción consiste en la materialización de los diseños estructurales, arquitectónicos y de instalaciones. En obra, los enfrentamientos entre estas especialidades pueden significar retrabajo, generando pérdidas en términos de tiempo y costes. Al respecto, la tecnología BIM puede ser usada para detectar estos conflictos o interferencias, ayudando a evitar los riesgos que puedan derivar de la no identificación de los mismos (Alcántara, 2013).

Entre los beneficios de utilizar las tecnologías BIM para detección de conflictos están:

- Ayuda a la coordinación de los diseños y la ingeniería.
- Facilita la revisión completa del diseño.
- Permite la identificación rápida de los conflictos e interferencias.
- Capacidad para explorar opciones, integrar los cambios en los modelos BIM y eliminar los riesgos.
- Permite hacer un seguimiento de las actividades de construcción.
- Minimiza el reproceso y los desperdicios.
- Ayuda a mejorar la calidad de los diseños.

- Visualización

A través del análisis de los componentes del edificio, en los modelos 3D se puede analizar la topología de la construcción, que puede servir de ayuda para la generación del planeamiento de la construcción. Tradicionalmente, el planeamiento de la construcción es un factor crítico en la gerencia de la edificación. El planificador de la construcción es una persona con mucha experiencia en la construcción de edificios que sabe estimar el trabajo y los equipos requeridos para la construcción del edificio. Usando este conocimiento es creado un planeamiento de la construcción, el calendario para otros planes tales como transporte, medida, seguridad, etc. (Alcántara, 2013).

- Simulación 4D

Las tecnologías BIM-4D combinan los modelos BIM-3D con la cuarta dimensión que viene dada por las duraciones de las tareas de construcción programadas en un calendario de obra con algún software (p.e. Primavera o MS Project). Al combinar las actividades de un programa de ejecución de la construcción con elementos de un modelo BIM-3D se obtiene una simulación visual de la secuencia constructiva, que también es conocida como modelo 4D, ya que muestra simultáneamente las tres dimensiones geométricas del proyecto, más la cuarta dimensión del tiempo proveniente de las duraciones de las actividades de los procesos de construcción (Alcántara, 2013).

2.2.5 Beneficios del uso del BIM en el diseño y la construcción

La gestión de proyectos usando la tecnología BIM reduce la incertidumbre en su manejo, ya que aumenta las posibilidades de controlarlo, pues elimina las aproximaciones abstractas. Asimismo, la integración de las labores de diseño y construcción abre las puertas a una ingeniería en la que los profesionales se dedicarán a mejorar los diseños, la planificación de las obras y su control, reduciendo con ello el costo de los proyectos (Alcántara, 2013).

Algunos de los beneficios de aplicar BIM en una empresa que haya realizado un maduro proceso de implementación son:

En la etapa de diseño:

- En las primeras etapas del diseño, para probar que se ha cumplido con las expectativas del cliente, se puede obtener listados de materiales y cómputos de materiales generales.
- Obtención de los planos del proyecto: de plantas, de secciones, de elevaciones, de detalles y vistas 3D isométricas.
- Creación de imágenes fotorrealistas (renders), vistas de perspectivas, animaciones y escenas de realidad virtual para el marketing del edificio.
- Gestión de espacios y usos de los ambientes del edificio.
- Proveer datos para el análisis estructural de elementos del edificio.

En la etapa de construcción:

- La revisión visual del diseño del proyecto.
- Realizar análisis visuales o automatizados de interferencias físicas entre los diseños (detección de interferencias).
- Obtener reportes de cantidades de materiales (metrados).
- Intercambio electrónico de datos de diseño con proveedores (para detalles y fabricación de acero estructural, prefabricación de instalaciones)
- Simulación del proceso constructivo BIM-4D.

- Con la tecnología del edificio virtual, los propietarios están en una posición privilegiada que confirma la importancia de su papel, no sólo en los inicios del diseño de edificios, sino también en su planteamiento, mantenimiento y operación a largo de su ciclo de vida.

2.2.6 Herramientas BIM:

Existen diversas herramientas que han adoptado componentes inteligentes que hacen que la información sea cada vez más accesible, a continuación las 5 herramientas más aplicadas a nivel internacional: Revit, Archicad, Nemetschek Allplan, Autocad, Bentley Architecture (Montellano, 2013).

2.2.7. Dimensiones BIM

2.2.7.1. 3D: Representación tridimensional del proyecto

Modelamiento geométrico de la infraestructura en formato 3D mediante el uso de animaciones, renders y recorrido.

El uso de herramientas a la vanguardia para la realización de un modelo digital de una obra de construcción permite brindar atención al detalle gráfico de nuestro diseño. Esto nos garantiza una representación realista de la parte estética y una óptima conexión geométrica con los elementos modelados.

Los problemas solucionables durante la fase de diseño no se limitan a aquellos relacionados al mismo modelo, considerándolo independiente del resto de las disciplinas técnicas involucradas, al contrario, ellas contemplan también la interacción de diversos actores/disciplinas contenidos en esta metodología.

Entonces, nace la necesidad de gestionar la actividad conocida como “*model checking*” (control de modelo) que esta formalizada operativamente en dos actividades diferentes:

- El code checking, es decir la evaluación de la conexión del modelo con las peticiones de diseño y las normativas.
- La clash detection, es decir el análisis preventivo de los conflictos geométricos (y no) del modelo.

Todo esto no puede excluir la necesidad de una evaluación formal de lo que se ha modelado en cada disciplina.

2.2.7.2. 4D: Programación:

He aquí la principal señal de identidad que caracteriza y diferencia a BIM de otras metodologías y/o softwares de trabajo tradicionales: el dinamismo. Frente a los modelos de proyecto puramente estáticos en la realidad, la metodología BIM aporta una nueva

dimensión temporal. De esta forma, es posible la realización de una planificación temporal exhaustiva de todas y cada una de las fases del proyecto, la cual irá variando a medida que vayan variando las características y condiciones del proyecto en sus diferentes fases de ejecución.

2.2.7.3. 5D: Análisis de costos

Esta fase comprende el análisis y estimación de los costes del proyecto, además de su control a medida que este avance o se vea modificado. Al integrar BIM información detallada de cada uno de los elementos integrantes, es relativamente sencillo generar informes presupuestarios en cualquier momento de la vida de la infraestructura.

2.2.7.4. 6D: Sostenibilidad

Se trata del planteamiento y simulación de las alternativas contingentes y analizarlas, a fin de determinar cuál de ellas es más adecuada para ser llevada a cabo. En otras palabras, es una fase de elección de la alternativa óptima teniendo en cuenta todas las dimensiones del proyecto.

2.2.7.5. 7D: La gestión del ciclo de vida

BIM representa un entorno de gestión en el que se localiza y organiza información referente a una infraestructura a lo largo de toda su vida útil. Así, el software almacena todas las características de los elementos dispuestos en el proyecto, tales como dimensiones, costes, planes de mantenimiento, etc.

De esta forma, existe un proceso de modificación y retroalimentación continua que registra todas las variaciones entre el proyecto inicial y la realidad, de tal manera que exista una total correspondencia entre el modelo BIM y el resultado real.



Figura 2.1: Dimensiones BIM

2.2.7 Lean Construction

Lean Construction tiene como raíces al Lean Production y la primera persona en introducir estos conocimientos en el ámbito de la construcción fue Koskela en su tesis de doctorado “Application of the New Production Philosophy to Construction” en 1992. Koskela demostró que al igual que en la industria manufacturera el proceso de conversión es la base del funcionamiento de la construcción (Pailiacho, 2014).

El control en la construcción apunta a contrastar cada actividad individualmente contra un presupuesto, y en caso se encuentren deficiencias en costo o tiempo de las actividades se busca mejorarlas individualmente creyendo que así mejorará el proyecto en conjunto; sin embargo, se ignora que dichas actividades se interrelacionan por flujos de materiales, mano de obra e información y que éstos esconden desperdicios que afectarán el desempeño del proyecto. Asimismo, cuando se diseña un proyecto no se hace considerando el proceso constructivo, es decir no se toma en cuenta las restricciones que puedan existir en las fases posteriores del proyecto lo que trae como consecuencia retrabajo y cambios de órdenes (Pailiacho, 2014).

El punto de partida para mejorar la construcción es cambiar la manera de pensar. Koskela sugiere que la información y los flujos de materiales, así como el flujo de trabajo tanto en el diseño como en la construcción deben ser medidos en función de sus desperdicios y del valor que agregan. Asimismo, señala que, a pesar de las peculiaridades de la construcción, los principios y técnicas de esta nueva filosofía, pueden ser aplicados en mejorar los flujos en la construcción (Pailiacho, 2014).

2.2.7.1 Productividad

La productividad es una relación entre la cantidad producida y los recursos empleados. Sin embargo, “la productividad no se puede concebir sin que exista un alto estándar de calidad, es decir la productividad involucra eficiencia y efectividad” Serpell (como se citó en Pailiacho, 2014).

En la construcción existen diferentes clases de productividad de acuerdo con el tipo de recurso utilizado, así:

- Productividad de los materiales.
- Productividad de la mano de obra.
- Productividad de la maquinaria y/o equipos.

Los cuales al interactuar representan la productividad de la construcción. En la construcción se han detectado diferentes factores que afectan la productividad, los cuales generalmente recaen sobre la falta de información o incompreensión de lo que el cliente realmente está esperando, la coordinación entre los diseñadores, contratistas y contratante, la planeación y el control de la planeación (Pailiacho, 2014)

La productividad tiende a aumentar cuando los procesos son repetitivos y el tiempo empleado para la realización de los mismos disminuye, lo anterior se debe al fenómeno del aprendizaje y generación de conocimiento (Pailiacho, 2014).

2.2.7.2 Aplicación de técnicas Lean en actividades de Construcción

“Lean Construction” sugiere la práctica de algunos principios que pretenden mejorar la productividad durante las diferentes actividades constructivas ejecutadas a lo largo de la obra. Estas prácticas se pueden aplicar tanto a las actividades en estudio como a aquellas que representan cierta importancia y variabilidad durante la ejecución de un proyecto que por sus condiciones particulares ameriten un control específico (Pailiacho, 2014).

Es importante tener en cuenta algunos de los principios básicos de “Lean Construction” como una herramienta para mejorar los procesos, estos principios son:

- Reducción o eliminación de las actividades que no agregan valor.
- Incremento del valor del producto.
- Reducción de la variabilidad.
- Reducción del tiempo de ciclo.
- Simplificación de procesos.
- Incremento de la flexibilidad de la producción.
- Transparencia del proceso.
- Enfoque del control al proceso completo.
- Mejoramiento continuo del proceso.
- Balance del mejoramiento del flujo con mejoramiento de conversión.
- Referenciación (Benchmarking).

Reducción de las actividades que no generan valor agregado (pérdidas):

Esta práctica se puede realizar mediante la elaboración de diagramas de flujo de las actividades constructivas claves o más representativas que se ejecutaran durante la ejecución de la obra, analizarlas y posteriormente evaluarla. Una vez identificadas las diferentes falencias se debe hacer el reentrenamiento del personal vinculado a la actividad con el fin de implementar las mejoras propuestas y continuar con este ejercicio en busca de la optimización de los procesos (Pailiacho, 2014).

Incremento del valor del producto

Se entiende que, a lo largo de la línea de producción o construcción en este caso, existen dos tipos de clientes, el cliente inmediato y el cliente final, los cuales deben ser definidos para cada actividad constructiva. No solamente basta con la identificación del cliente inmediato

en cada proceso, sino que se hace necesario identificar cuáles son los requerimientos de este para recibir su producto e iniciar su labor (Pailiacho, 2014).

Entonces, se quiere decir que los actores en los diferentes procesos deben conocer tanto las especificaciones de las actividades constructivas que van a desarrollar como aquellas requeridas para la ejecución del proceso siguiente. En la medida que se tenga implementada esta práctica, es factible que durante las planificaciones intermedias o periódicas se identifiquen las necesidades para la ejecución de cada actividad, lo cual nos permite su desarrollo considerando los aspectos críticos que posteriormente puedan ocasionar pérdidas de tiempo o recursos (Pailiacho, 2014).

Reducción de la variabilidad

La variabilidad es el fenómeno causado por las modificaciones dadas a la planificación inicial establecida para la ejecución de la obra, entonces, si se elimina la variabilidad se deduce que el sistema de planificación es confiable. Generalmente, la variabilidad puede estar asociada a factores como modificaciones del producto entregado al cliente, el tiempo necesario para la ejecución de una actividad, entre otras; es decir, por ejemplo, se espera recibir un producto con determinadas especificaciones y recibe uno con alguna modificación o en un tiempo diferente al esperado (Pailiacho, 2014).

Reducción del tiempo de ciclo

Además de la calidad y el valor, el tiempo de ciclo es una de las maneras más utilizadas para medir la duración de ejecución de una actividad, ya que se determina el tiempo necesario para realizar determinadas actividades en un escenario estimativo.

Dentro de la filosofía Lean Construction se pretende comprimir los tiempos de ciclo estimados para la ejecución de las diferentes actividades, así como reducir el tiempo estimado para inspecciones, movimientos o transporte, esperas y otros, produciendo ventajas como verificación de actividades que pueden pasar de ejecución secuencial a ejecución paralelo, lo cual nos permite perfeccionar nuestro sistema de planificación, cumplir con los tiempos acordados, mejoras de la logística interna, etc. (Pailiacho, 2014).

Simplificación de procesos

Dentro de la actividad de la construcción, la simplificación de los procesos se puede entender como la eliminación de prácticas que no generen valor agregado al producto, para lo cual se deben considerar aspectos como la reducción del número de procesos dentro del flujo de materiales o información, estandarización de actividades, materiales y herramientas, utilización de productos de fácil accesibilidad y transporte, etc. (Pailiacho, 2014).

Incremento de la flexibilidad de la producción

Corresponde a la identificación de posibles sucesos dentro de las actividades constructivas, con el fin de establecer planes de contingencia que nos permitan realizar otras actividades

mientras se supera alguna eventualidad que se presente, con el fin de evitar que el ritmo de avance del proyecto disminuya o en el peor de los casos se detenga (Pailiacho, 2014).

Transparencia del proceso

Consiste en la implementación de estrategias de divulgación de cronogramas de obra, ciertos planos y especificaciones, capítulos principales de actividades, participantes del proyecto, etc., al personal de la obra, con el fin de disminuir la propensión al error por deficiencia de información o direccionamiento, incrementar la motivación a proponer mejoras y aumentar la visibilidad de errores. Así mismo, permite incorporar mecanismos para que las personas reconozcan a través de un lenguaje visual las normas aplicables al proyecto, facilitando la comprensión de las mismas, y en algunos casos ofrecerlos al personal criterios para establecer rangos de aceptación de los productos y procesos. A través de esta herramienta, se facilita el control y el mejoramiento continuo de la obra.

Esta técnica es extensible a la socialización que se debe hacer con la comunidad con el fin de generar un ambiente de acercamiento y receptividad entre la obra y los habitantes vecinos (Pailiacho, 2014).

Enfoque del control al proceso completo

En el proyecto debe establecerse una unidad jerárquica a través de la cual se canalicen todos los requerimientos del cliente de los diferentes frentes de trabajo con el fin de unificarlas, organizarlas y analizarlas para crear los controles a tener en cuenta durante su ejecución. Es decir, crear un mecanismo de visualización y control global de la obra sin perder de vista a su vez la visualización y el control en cada una de las actividades constructivas que la conforman (Pailiacho, 2014).

Mejoramiento continuo del proceso

Consiste en la identificación y la comprensión de los procesos inherentes a determinado proyecto con el fin de establecer y aplicar mecanismos de medición de la productividad que sea posible realizar un análisis del comportamiento de la misma para retroalimentar cada uno de los procesos y generar mejoras. Ese ejercicio debe constituirse en una práctica permanente dentro de las organizaciones con el fin de optimizar las actividades constructivas que tienen lugar en la obra y favorecer el crecimiento de la organización (Pailiacho, 2014).

Balance del mejoramiento del flujo con mejoramiento de conversión

En construcción de obras el flujo es considerado como el tiempo de espera y transporte de materiales que se presenten dentro de la misma, mientras que las conversiones corresponden a las transformaciones de los materiales para generar un producto a lo largo de la cadena de producción o ejecución de la obra. Entonces, mediante la implementación de esta técnica se propone realizar un mejoramiento continuo, con el fin de optimizar los procesos de la obra mediante la eliminación de flujos innecesarios y armonizarlos con la conversión del producto para que funcionen como un todo (Pailiacho, 2014).

Referenciación (Benchmarking)

La técnica del benchmarking (Boxwell, 1996) propone el estudio y conocimiento de los procesos y subprocesos internos de la organización, con el fin de identificar sus fortalezas y debilidades y compararlas con los competidores líderes del sector. Una vez realizado el análisis comparativo se procede a copiar, modificar o incorporar en los procesos internos las mejores prácticas de los competidores, todo esto enmarcado dentro de una competencia sana que propenda al mejoramiento continuo de las empresas del sector (Pailiacho, 2014).

2.2.8 Sinergia Lean – BIM:

Lean y BIM son diferentes iniciativas que tienen un profundo impacto en la industria de la construcción, ya que desarrollan entre ambas una sinergia que puede ser explotada al integrar sus principios para mejorar los procesos de construcción (Alcántara, 2013).

Lean Construction, agrega el mayor valor al cliente, minimizando el desperdicio, tiene como sus principales principios: reducir el desperdicio, reducir la variabilidad, mejora continua de procesos, flujo de producción eficiente, estandarización y prefabricación, colaboración entre diseño y construcción.

2.2.9. Situación actual de la adopción de BIM en el Perú

2.2.9.1. BIM en el Perú

Comité BIM:

El 06 de setiembre del 2012 se funda el Comité BIM del Perú, pertenece al Instituto de la Construcción y el Desarrollo (ICD) de la Cámara Peruana de la Construcción CAPECO. Está integrado por profesionales con experiencia aplicando BIM en todas las etapas de un proyecto (BIM, 2012).

Según Almonacid (2015), este comité busca difundir las ventajas y metodología de trabajo en todas las empresas del sector, lograr alcanzar una estandarización en el uso y aplicación del sistema BIM a nivel nacional, impulsar las buenas prácticas en el modelamiento de proyectos BIM, constituir una biblioteca virtual con información categorizada adaptada a la realidad peruana, promover las capacitaciones en herramientas BIM en los distintos especialistas y participar en la generación de un mercado con mayor nivel técnico, para beneficio de todos los involucrados.

Empresas Participantes del Comité BIM del PERU:

- Graña y Montero.
- Cosapi.
- Constructora AESA

- Wescon
- Animedia.
- DCV Consultores.
- IDAndBIM
- DHG Arquitectos.
- Arcadia.
- Proyecta.
- Rene Lagos Ingenieros.
- Marcan.
- Universidad nacional de Ingeniería (UNI).

El Comité BIM desarrolla Alianzas con diferentes entidades, entre las cuales cuenta actualmente con:

- Portal de Ingeniería (PI)
- CIFE - Stanford University (USA) COSTOS - Construcción, Arquitectura e Ingeniería
- Autodesk
- Construsoft (Tekla)
- Universidad Nacional de Ingeniería (UNI)

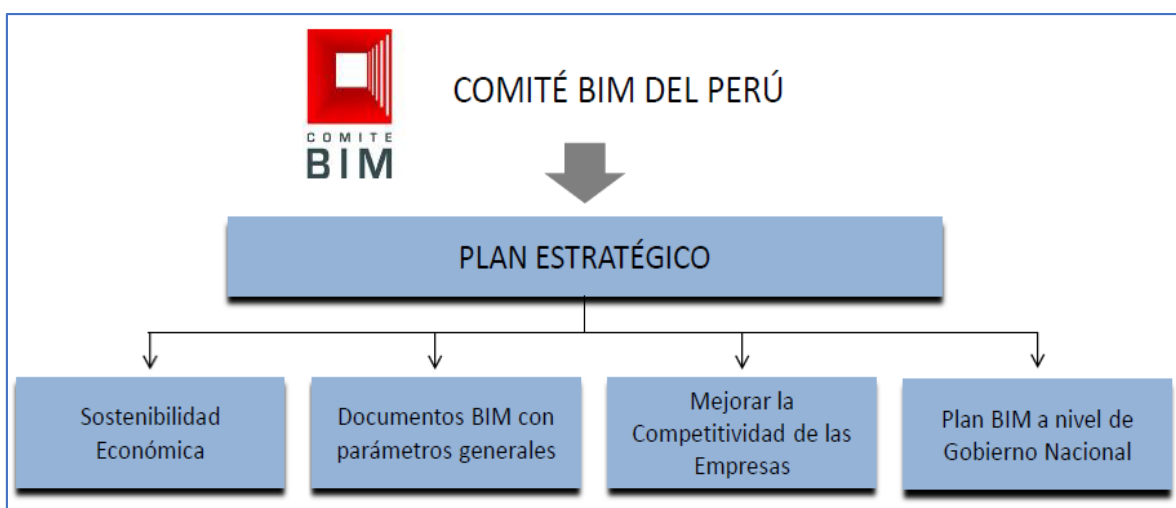


Figura 2.2. Plan Estratégico – Comité BIM del Perú
Fuente: Costos Educa, 2018.

Implementación de la tecnología BIM en el sector construcción:

La difusión de esta tecnología es cada vez más sonada en el medio. En el Perú, CAPECO (Cámara Peruana de la Construcción) viene fomentando el empleo del BIM mediante charlas y capacitaciones por profesionales reconocidos, tanto nacionales como extranjeros, con la finalidad de difundir y promover los beneficios de implementar BIM y las nuevas formas de trabajo y cambios en la organización para que la implementación de esta nueva metodología sea exitosa (Farfan & Chavil, 2016).

Según el gerente peruano de Autodesk, Alejandro De León, muchas empresas ya tienen las herramientas tecnológicas, y ahora el nuevo desafío es que las organizaciones adopten la metodología BIM en todas las fases del desarrollo de sus proyectos (Farfan & Chavil, 2016).

Según Almonacid et al., (2015) existen dos formas para la adopción de la tecnología en nuestro medio:

- a.- Tercerización de servicios, este se subcontrata una vez obtenida la ingeniería por parte del proyectista.
- b.- Implementación a nivel de empresa, desde la concepción del proyecto, éste se inicia con la implementación de una metodología de trabajo nuevo, aplicando estándares BIM.

Farfán y Chavil (2016) recopiló algunas encuestas contestadas por jefes BIM, coordinadores, consultores, implementadores, especialistas en softwares BIM y modeladores. Dentro de la muestra se encuentran colaboradores de las empresas: Graña y Montero, Cosapi, Marcan, CDV consultores, Proisac, entre otros. De las cuales se obtuvo las siguientes respuestas:

- En el Perú, ya se ha implementado BIM en los siguientes tipos de proyectos: oficinas, hospitales, Viviendas (condominios, residencias, etc), Centros comerciales, Centrales hidroeléctricas, Carreteras, Obras electromagnéticas (plantas industriales), Infraestructura institucional (colegios, universidades, etc.). Al respecto, hay que tener en cuenta que en muchos de estos proyectos únicamente se ha hecho un “intento” por implementarlo o, simplemente, se modeló el proyecto en 3D a través de un software para ser presentado como el modelo BIM pero que tan sólo se usó para temas de visualización y marketing.
- Hay dos tipos de proyectos en particular en donde es más provechoso implementar BIM, En primer lugar, se encuentran los hospitales y, en segundo lugar, los centros comerciales, los encuestados tomaron en cuenta principalmente la cantidad de especialidades (y sub-especialidades), la complejidad del proyecto y la magnitud del mismo en términos económicos. Algunos otros criterios fueron la incertidumbre, la variabilidad, la cantidad de proyectos del tipo que se ejecutan en el Perú y los plazos de ejecución apretados.
- El 100% de los encuestados afirmó que emplearon BIM con fines de visualización, Dentro de las aplicaciones más empleadas se encuentran los metrados, la prevención y/o detección de conflictos, el diseño y la planificación de la producción.

- Las dificultades de implementar BIM en un proyecto de construcción, radica principalmente en:
 - La resistencia al cambio de parte de los involucrados, cambiar de metodología de trabajo.
 - Costos de implementación asociados a la implementación de BIM: capacitaciones, costo de las licencias, compra de computadoras adecuadas, especialistas.
 - La ansiedad de alcanzar resultados inmediatos.
 - La falta de información acerca de BIM, muchos proyectistas afirman que gestionan BIM cuando lo que hacen es tercerizar el modelado.
 - Experiencia para implementar BIM, muchos proyectos fallan por no tener claro qué es lo que se quiere implementar y por qué es necesario hacerlo.

- Las dificultades que encuentran al implementar BIM durante la etapa de diseño de los proyectos y en el que participan varias sub-contrataciones en las especialidades, son las siguientes:
 - Las gerencias y jefaturas muchas veces no son conscientes del potencial del BIM.
 - El rechazo al cambio, al sacarlos de su zona de confort y exigirles que utilicen una herramienta nueva.
 - La disposición de las especialidades a invertir en la implementación de BIM, lo que es peor, habiendo pocos centros de aprendizaje de modelado y menos aún de gestión, que es lo más importante.
 - Que todos trabajen de manera uniforme dentro de los mismos parámetros.
 - Falta de comunicación entre todos los involucrados del proyecto.
 - La dificultad de los proyectistas al entregar sus diseños en BIM en un modelo centralizado.
 - La dificultad de asistencia de los proyectistas a sesiones de coordinación, ello hace poco eficientes las reuniones, ya que no todos se presentan siempre.
 - Mayores horas-hombre invertidas en el entregable final del modelo, ya que las especialidades como Estructuras y MEP requieren de planos 2D para posteriormente pasarlos a un software de modelamiento (esto no sucede con arquitectura, puesto que en este caso resulta más productivo crear un diseño en un software BIM).
 - El cumplimiento de los plazos y compromisos asumidos por cada especialista.
 - La desconfianza de “depender” de una herramienta digital para la ejecución de un proyecto.

Nivel de madurez BIM (NMB):

Muchas empresas que se dedican exclusivamente al rubro inmobiliario se encuentran en una etapa de implementación de estandarización de procesos de coordinación, modelado y organización del área en sus metodologías BIM, es decir, la mayoría de las empresas inmobiliarias se encuentran en un nivel de madurez de 14% y 22%, son algunas pocas inmobiliarias que destacan con un nivel de madurez del 41% (GRUPO S10, 2017).

Algunas empresas afirman implementar BIM en sus proyectos y que, seguramente debido a la falta de conocimiento de qué es BIM, lo que hacen en realidad es subcontratar el modelado de sus proyectos para temas de marketing, es decir el modelo lo emplean como un modelo 3D que les permite tener imágenes fotorrealistas del proyecto, mas no lo emplean como una herramienta tecnológica con el potencial de solucionar muchas de las problemáticas que afronta la industria de la construcción (GRUPO S10, 2017).

Por otro lado, aquellas empresas medianas y grandes que, además del rubro inmobiliario, se dedican a otros rubros (tales como construcción, infraestructura, ingeniería, etc.) tienen un nivel de implementación BIM más desarrollado. En este tipo de empresas se ha alcanzado un nivel de estandarización de procesos de coordinación BIM en el diseño y la construcción y se tienen manuales de modelamiento, así como formatos de controles de calidad al modelado y planes de ejecución BIM.

Empresas como GyM y Cosapi son las pioneras en la utilización de la tecnología BIM, estas empresas cuentan ya con sus propias áreas de soporte BIM (Costos Educa, 2018). Todos los proyectos de edificaciones que ejecutan cuentan con un modelo 3D, sin embargo, a la fecha no todos se encuentran utilizándolo, por lo que la empresa aún continúa con su proceso de implementación del BIM. El 100% de los proyectos en GYM cuenta con un modelo 3D, y solo el 43% se encuentra utilizando el modelo BIM (Almonacid et al., 2015).

El simple modelamiento virtual y tridimensional de la edificación es un valor muy importante para el diseño y la construcción porque a partir de ahí se pueden detectar las deficiencias, planificar el proceso constructivo, y entre otras cosas más, compatibilizar todas las especialidades del proyecto: arquitectura, estructura, instalaciones eléctricas, sanitarias, mecánicas y las sub-especialidades.

BIM para compatibilización:

La compatibilización es el principal uso BIM empleado del diseño y construcción de proyectos. Este uso tiene múltiples alcances como la detección de conflictos e interferencias para las cuales se brindan soluciones y se tienen como resultado final planos compatibilizados. Compatibilizar el proyecto durante el diseño permite tener mayor grado de confianza al ejecutar el proyecto puesto que los cambios serán menores y por tanto los adicionales y ampliaciones de plazo serán minimizados.

Los aportes del BIM en la construcción son numerosos. La mayoría de estos no implican necesariamente el cambio de metodología de trabajo tradicional, sino solamente el empleo de un software distinto al CAD, lo que es un punto a favor para su difusión en la obra dado el rechazo al “cambio” (Farfan & Chavil, 2016).

En el Perú BIM se usa principalmente para visualización, metrados, compatibilización de planos y simulaciones de constructivas referenciales (Costos Educa, 2018). Para poder plantear una mejora en la aplicación de BIM entendamos que actualmente se viene desarrollando principalmente un BIM de compatibilización que se encuentra altamente desarrollado y con muchos especialistas que hacen muy accesible este servicio.

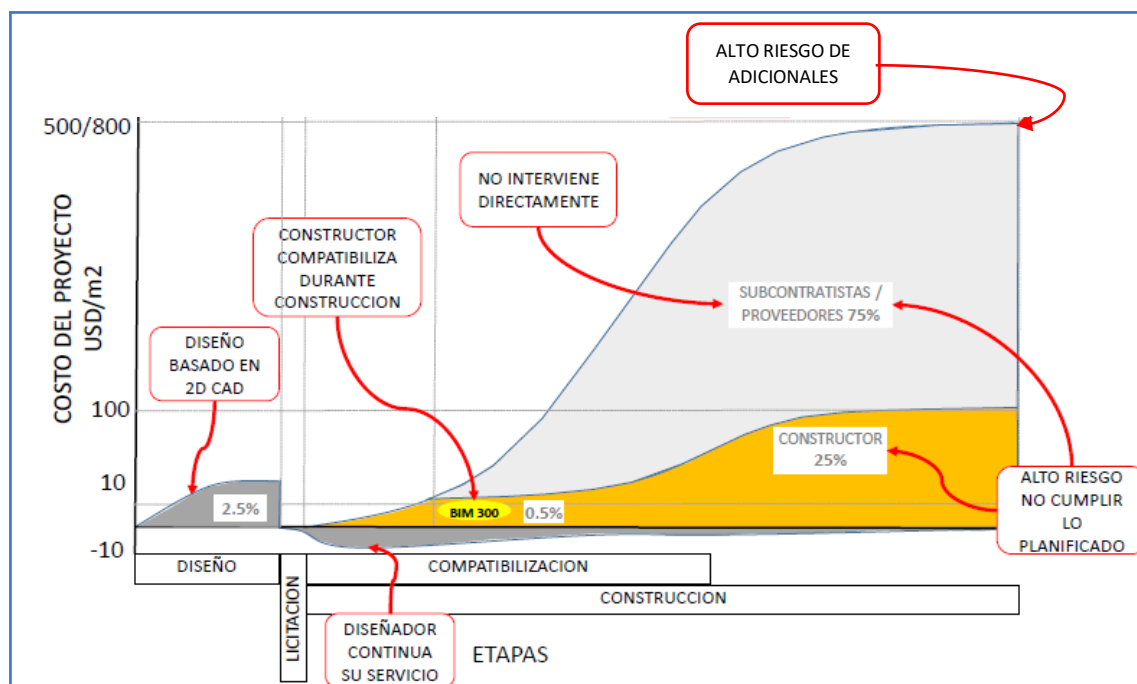


Figura 2.3. Actual BIM: Compatibilización

Fuente: (Costos Educa, 2018).

La concepción de un proyecto con componentes artesanales y con un bajo nivel de detalle hace imposible impactar de forma considerable en los costos y es lo que ha limitado la obtención de resultados en las actuales aplicaciones de BIM. Asimismo, se aprecia en el gráfico que se tiene una fragmentación entre la mínima solución BIM de 0.5% y la participación de proveedores/subcontratistas, este es otra causa principal que genera proyectos poco detallados ya que no toman en cuenta los componentes reales del proyecto a pesar de que se está teóricamente aplicando “BIM” (Costos Educa, 2018).

2.3 GLOSARIO DE TÉRMINOS BÁSICOS

IPD: Integrated Project Delivery, es un enfoque de ejecución de proyectos que integra personas, sistemas, subsistemas, estructuras y prácticas empresariales en un proceso que aprovecha colaborativamente el talento y los aportes de todos los interesados.

ICE: Ingeniería Concurrente Integrada, como su mismo nombre lo dice, integra y organiza a todos los involucrados en un proyecto de edificación.

IFC: Industry Foundation Classes, es un formato de datos de especificación abierta, que facilita la interoperabilidad entre programas del sector de la construcción.

LAST PLANNER SYSTEM: O último planificador, es un sistema de control que mejora el cumplimiento de actividades y la correcta utilización de recursos de los proyectos de construcción.

LOOKAHEAD PLANNING: Es una herramienta de planificación de jerarquía media, basada en la planificación maestra, en la cual se genera información para la realización de una planificación a corto plazo, que ayuda al control de la asignación de trabajo.

RFI: Request for Information: Proceso por el cual un participante en el proyecto envía una comunicación a otro participante para confirmar la interpretación de lo documentado o para aclarar lo especificado en un modelo.

REVIT: Revit es un programa para trabajo en modelado BIM, con una base de datos relacional que gestiona y coordina la información para el modelado del diseño arquitectónico, la construcción, y la ingeniería de un edificio, incluyendo todas las especialidades.

NAVISWORKS: Es un programa de Autodesk que permite un mayor control sobre el proyecto constructivo. Esto es posible gracias a la integración, de archivos con información constructiva (BIM) y archivos temporales, obteniendo así, un archivo en 4D.

LOD-100 Diseño conceptual: El modelo es un diseño conceptual que contiene todos los elementos del edificio, sus volúmenes y materiales. Permite analizar su mejor implantación y orientación. (Caparo, 2016)

LOD-200 Desarrollo de diseño: El modelo contiene el diseño desarrollado de los sistemas constructivos e instalaciones del edificio y sus elementos, todos ellos con su tamaño, forma, ubicación y orientación. Permite realizar un primer análisis de cantidades y costo de las obras, con o sin variantes.

LOD-300 Documentos para construcción: El modelo contiene la información precisa de elementos constructivos y sistemas. Permite generar los documentos de construcción tradicional y planos.

LOD-400 Fabricación y montaje: El modelo contiene la información y detalle necesario para la fabricación y montaje. El nivel de medición es exacto. Su alcance entra en el campo del contratista o fabricante de elementos y sistemas.

LOD-500 Operación y mantenimiento: El modelo contiene la información del edificio ya construido, (as built). Permite iniciar las operaciones de mantenimiento de la instalación, por lo que su alcance entra en el campo del promotor y el usuario final.

2.4 HIPOTESIS:

Es factible proponer una metodología para implementar las tecnologías VDC/BIM en la etapa de diseño de los proyectos de edificación.

CAPITULO III: MARCO METODOLÓGICO

3.1. ENFOQUE: Cualitativo

El enfoque cualitativo, emplea métodos de recolección de datos no estandarizados, no numéricos, en esta investigación se realizó observaciones detalladas no estructuradas, revisión de documentos, entre otros.

3.2. DISEÑO: Cualitativo de Investigación documental.

El objeto del proyecto de trabajo de investigación consistió en proponer una metodología para implementar BIM y VDC en un proyecto, estudiando previamente la realidad en su contexto natural, se realizó una búsqueda exhaustiva de fuentes bibliográficas publicados por diferentes especialistas y organizaciones, y a partir de allí, se construyó los procesos de implementación.

3.3. MÉTODOS Y PROCEDIMIENTOS:

Se realizó la búsqueda y revisión de fuentes bibliográficas como, tesis, artículos, páginas web y libros publicados por diferentes especialistas y organizaciones, sobre el tema de investigación, con la finalidad de tener un horizonte más amplio y establecer la problemática y el enfoque.

Se analizó la documentación recolectada, seleccionando la información más relevante, o de interés para tener una guía o base de ayuda para poder generar la metodología de implementación.

Se propone la metodología de implementación de VDC/BIM, describiendo los procesos, las técnicas y herramientas, que sustentan esta metodología y cómo deben organizarse e integrarse de forma ordenada y esquematizada en la etapa de diseño.

3.4. PROCESOS Y HERRAMIENTAS DE IMPLEMENTACIÓN

3.4.1. Actores

Montellano, 2013 describe a los siguientes, como la parte interesada de la metodología de implementación:

- Diseñadores: Son los arquitectos e ingenieros, los que poseen el conocimiento técnico, podría decirse que son el corazón de la empresa. Son ellos quienes deberán utilizar el software para representar sus diseños, en muchas empresas los ingenieros no requieren un conocimiento especializado de las tecnologías CAD. Sin embargo, al implementar las tecnologías BIM sus habilidades con el software BIM deberán crecer y ser mayores a las capacidades y habilidades que estos poseían con el software CAD. Esto porque el software BIM no solamente permite representar y hacer planos, si no que ayudará directamente a algunas de las labores de diseño.

- Propietario: Como su nombre lo dice es el dueño del proyecto, quien coloca los lineamientos principales quien utilizará la obra civil después de concluida la construcción.
- Consultores: Toman un rol importante puesto que son los que muchas veces tienen la decisión en aspectos de diseño de los distintos sistemas instalados y deben coordinar el trabajo y diseño con varias áreas. Este rol estará fusionado o incluido dentro del rol del contratista para proyectos de diseño integrado.
- Arquitecto: Dependiendo de la naturaleza del proyecto pueden ser ellos los que mayor peso tengan respecto a aspectos de diseño y su labor.
- Contratista: Puesto que será el que en efecto construirá el proyecto, su opinión es altamente importante y determinará qué tan fácilmente se puede construir el proyecto o las dificultades que puedan surgir en su implementación.
- Proveedores: Su rol puede ser decisivo en algunas partes del proyecto, puesto que la disponibilidad de algunos materiales de construcción o la entrega de determinados sistemas puede ser crucial para el proyecto. Algunos equipos que ellos tengan tendrán influencia en los espacios requeridos para su instalación, operación y mantenimiento.
- Especialistas: Son aquellas personas que no forman parte de los sistemas tradicionales y que entran a jugar un papel importante cuando en la obra a construirse existen solicitudes muy especiales.

3.4.2. Procesos de integración

3.4.2.1.VDC con IPD (Integrated Project Delivery)

Es un sistema integrado de entrega de proyectos que busca alinear intereses, objetivos, y prácticas renovando la organización, el sistema de operación y los términos comerciales que rigen el proyecto. Los principales miembros del equipo del proyecto son el proyectista, los ingenieros, los consultores técnicos, así como el contratista general y los subcontratistas principales de especialidad. Estos miembros forman una organización capaz de aplicar los principios y prácticas del sistema de entrega de proyectos lean, que busca involucrar a todos los participantes de un proyecto (proyectistas, consultores, contratistas, proveedores, especialistas, etc.) para poder generar un producto con valor agregado hacia el cliente, generando ahorro para este y mayores utilidades para las empresas involucradas (Guzmán, 2014).

Incorporando un modelo BIM en un proceso IPD le permite al equipo del proyecto utilizar la información en un ambiente integrado, aumentando la eficiencia y permitiendo nuevas formas de trabajo que inspiran mayor creatividad y diseños más sustentables. Además, se generan mejores resultados en términos de predicción y precisión del proyecto de construcción (Saldías, 2010).

Saldías (2010), establece claves para una Entrega Integrada del Proyecto:

- Involucrar a todos los miembros del equipo en reuniones de diseño, incluyendo a constructores.

- Modelo BIM como instrumento base para la comunicación y la vinculación entre disciplinas y sus diseños.
- Establecer mecanismos contractuales que permitan la colaboración. Crear una cultura de confianza.
- Minimizar procesos basados en el uso de papel. Colaborar digitalmente.
- Chequear y gestionar interferencias (no solo espaciales) entre disciplinas, digitalmente.
- Comunicar ideas de diseño usando visualizaciones en 3D para mantener a todos presentes y alineados.

3.4.2.2. VDC – ICE (Integrated Concurrent Engineering)

La Ingeniería concurrente busca integrar todos los elementos que conforman el proyecto, desde el diseño conceptual, hasta el último paso, la operación y mantenimiento. ICE (Ingeniería Concurrente Integrada) pretende que los desarrolladores desde un principio tengan en cuenta todos los elementos del ciclo de vida del proyecto, incluyendo: calidad, costo, y necesidades de los clientes. Este método conecta a cada uno de los responsables de cada área, por ejemplo, el cliente, el contratista, jefe de ingeniería, especialistas, subcontratistas, proveedores, etc; los reunirá para que estos, expongan sus ideas, problemáticas o sus propuestas de solución, de esta forma se mejora los flujos de comunicación, conociendo más a fondo el proyecto, trabajando por un mismo objetivo, optimizando tiempos y recursos.



Figura 3.1: Sesión ICE (Integrated Concurrent Engineering)
Fuente: (Costos Educa, 2018)

Existen varias técnicas de la Ingeniería Concurrente, las principales son: benchmarking, lluvia de ideas, la mejora continua, entre otras.

Benchmarking, consiste en tomar como referencia, los mejores aspectos o prácticas, de algún área, para así aplicarlo al sector que necesite mejorar, la lluvia de ideas consiste en agrupar a los encargados de cada área, exponer una problemática por la que se esté pasando y que cada uno de ellos, realice sus propuestas de mejora, todas ellas se analizarán y evaluarán, eliminando y descartando algunas, así poder llegar a la solución óptima, unitaria y con la que todos estén de acuerdo.

3.4.2.3.VDC – Mapeo de procesos

ICE (Ingeniería Concurrente Integrada) va de la mano con el mapeo de procesos, en el cual tiene por objetivo, mostrar gráficamente las actividades que se llevan a cabo dentro del proyecto, de tal manera que todo aquel que lo lea sea capaz de comprender el alcance y llevar a cabo el proceso.

Se indica las actividades, acciones o situaciones con las que se inicia el proceso, detallando los involucrados, recursos, materiales con los que se cuenta para desarrollar los procesos, con ello se puede tener una visión gráfica de los procedimientos y métodos mejorados a implementarse (Costos Educa, 2018).

3.4.2.4. VDC – importancia de las métricas

VDC (Virtual Design and Construction) nos permite generar métricas de control, estas métricas nos permiten tener una visión objetiva del desarrollo del proyecto, de esta forma se tendrá métricas relacionadas al costo, plazos, entregables, calidad, interferencias encontradas, riesgos, productividad; es decir se mide, se reporta y se controla el estado de los proyectos.

3.4.3. Metodología de modelado BIM

3.4.3.1. Diseño Conceptual

El proceso BIM se inicia en la fase conceptual, donde se modelan las propuestas sobre la concepción que se tiene sobre la infraestructura futura, generalmente se concibe junto con los propietarios o directivos para desarrollar la idea del proyecto en base a sus necesidades y estudios, se observan espacios, áreas, formas y entorno. Este tipo de modelos ayudan en la toma de decisiones ya que es una gran herramienta visual, al mismo momento que la idea del proyecto comienza a tener una base, puesto que este modelo 3D, se convierte en información sobre la cual se trabajará en fases posteriores (Pailiacho, 2014).

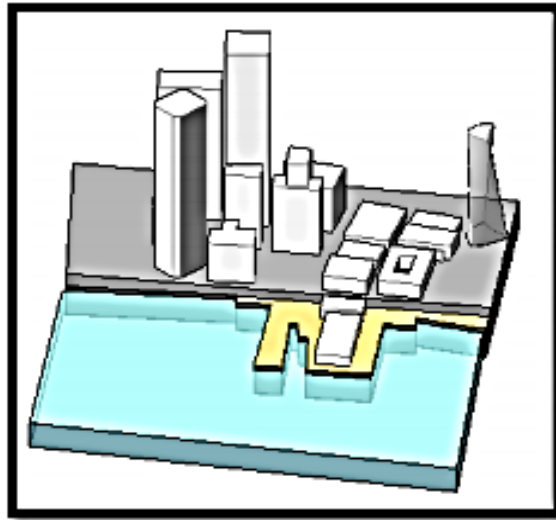


Figura 3.2. Ejemplo de diseño conceptual
Elaborado con información de Pailiacho (2014) y Murcio (2013).

3.4.3.2. Diseño Detallado (Estructuración)

Teniendo como base el bosquejo del modelo 3D, en esta etapa, se definen de forma más precisa las dimensiones de la edificación, se especifican materiales, en sí, se define la arquitectura del proyecto conforme a las normas establecidas, se da el predimensionamiento estructural y se definen las instalaciones electromecánicas.

El modelo tridimensional ya no es solo información geométrica, puesto que el modelo, no está compuesto solo por líneas como usualmente es en los sistemas tradicionales, en este caso son elementos estructurales como losas, columnas, vigas, muros, paneles, cimentaciones, etc. El modelo ahora contiene también información sobre los materiales, el tipo de función, propiedades, dimensiones, clasificación, con estas características a este nivel, se pueden realizar estimados superficiales sobre volúmenes, costos, tiempos de ejecución. De este modelo puede obtenerse una visualización más detallada de la edificación, tener una idea más clara de los espacios, en sí, una visión real de lo será el proyecto, y en caso necesario realizar las modificaciones pertinentes (Pailiacho, 2014).

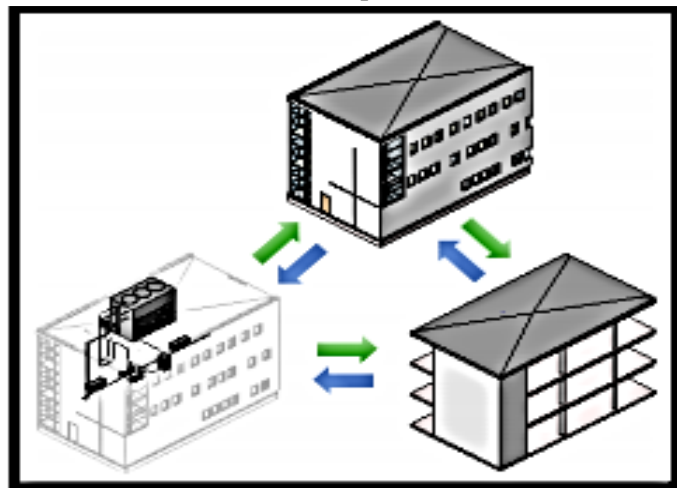


Figura 3.3 Ejemplo de estructuración: arquitectura, predimensionamiento e instalaciones.
Elaborado con información de Pailiacho (2014) y Murcio (2013).

3.4.3.3. Análisis y Diseño Estructural

En esta parte del proceso, se parte de la información recabada en el modelo de diseño detallado(predimensionado), para que a partir de esto se incorporen los aspectos relacionados con la idealización del comportamiento estructural de la edificación, se consideran las acciones y sus combinaciones a las que se someterá la estructura en base a su probabilidad de ocurrencia, tomando en cuenta también el tipo de análisis aplicable a cada caso particular, para con ello determinar elementos mecánicos, esfuerzos y deformaciones que son la base para el diseño estructural, realizando en su caso las modificaciones necesarias al modelo, para obtener una estructura optima, que cumpla con los parámetros de funcionalidad, seguridad y economía requeridos, teniendo en cuenta siempre, la reglamentación de acuerdo al lugar y a las especificaciones del proyecto. En esta parte del proceso BIM, se realimenta el modelo general para efectuar en él sus modificaciones pertinentes, resultado del análisis y diseño estructural, que finalmente redundará en la definición de secciones transversales definitivas de elementos de concreto, sus armados de refuerzo, perfiles estructurales metálicos, etc. Posteriormente, en esta misma etapa, se incorporan los sistemas mecánicos, eléctricos y de saneamiento, agregando también los detalles arquitectónicos y de acabados, para tener por último la revisión de posibles obstrucciones en intersecciones de la estructura con las instalaciones y completar el modelo (Pailiacho, 2014).

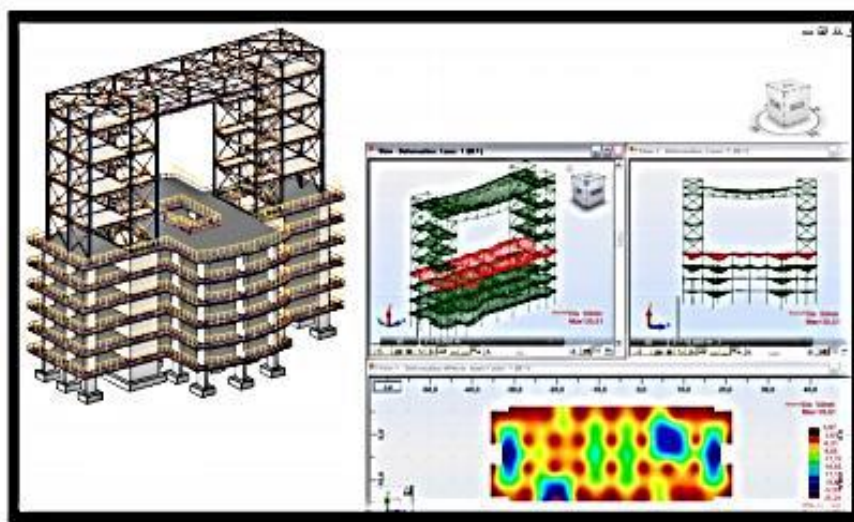


Figura 3.4: Análisis y diseño estructural

Elaborado con información de Pailiacho (2014) y Murcio (2013).

3.4.3.4. Simulación 4D

Las tecnologías 4D combinan modelos 3D con la cuarta dimensión, la cual viene dada por el tiempo proveniente de las duraciones de actividades de construcción representado en un programa de ejecución realizado en algún software de programación (ej. Primavera o MS Project). Al incorporar el tiempo, la construcción ocurre en etapas tempranas del proyecto, en un enfoque que va más allá de la forma tradicional de planificación de la estrategia de construcción: “Los Modelos 4D reflejan la realidad de la ejecución de la etapa de

construcción del proyecto mejor que cualquier otro enfoque actualmente en uso”. Fisher (como se citó en Saldias, 2010).

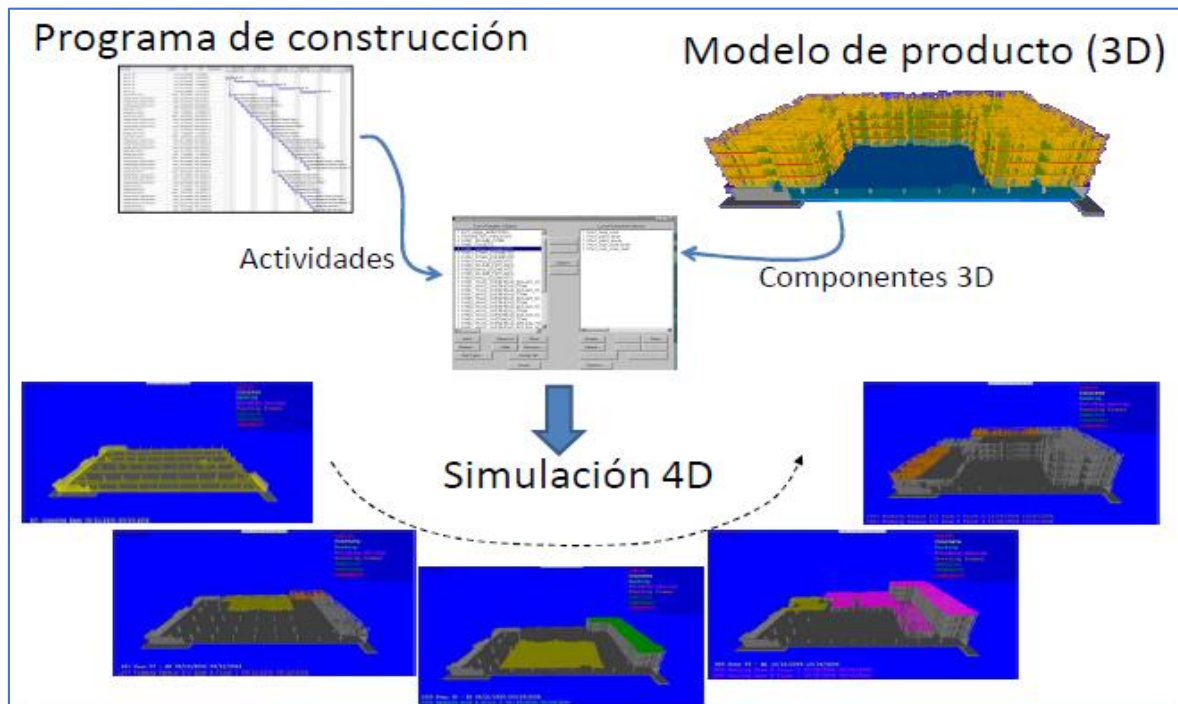


Figura 3.5 Simulación 4D

Fuente: (Saldias, 2010)

Una de las grandes ventajas que tiene esta aplicación es que se puede incorporar la experiencia de construcción desde la etapa de diseño a través de un enfoque de constructabilidad mucho más avanzado, donde diseñadores, planificadores y constructores trabajan integradamente desde etapas tempranas del proyecto. Así, los errores son captados antes de la ejecución con el correspondiente ahorro de costos y de tiempo que este análisis conlleva. Combinar las especificaciones de materiales y componentes con un buen programa de ejecución de obras para lograr una logística racional y un proceso de construcción eficiente es el principal propósito de estos modelos. Así se tendrá un abastecimiento a tiempo sin cuellos de botella en las distintas actividades constructivas, logísticas, de control, administrativas y gerenciales, etc. (Saldias, 2010).

3.4.3.5. Simulación 5D

El concepto 5D se refiere a la introducción del factor costo, que al tener toda la información disponible, permite crear una simulación de construcción conforme a una ruta crítica, visualizando el proceso de construcción y con ello ir conociendo cual es la cantidad de insumos o recursos necesarios a aplicar en cada momento, con lo cual se puede establecer un plan de financiamiento adecuado con el tiempo y avance de la construcción, con el fin de evitar contratiempos, costos extras, o falta de capital (Pailiacho, 2014).



Figura 3.6. Construcción 5D

Elaborado con información de Pailiacho (2014) y Murcio (2013).

3.4.3.6. Documentación

En el proceso BIM se contempla la generación de la información de salida que se obtiene del modelo de información para la edificación, la cual se obtiene de manera instantánea y coordinada, puesto que toda la información viene de una sola fuente, siendo su manipulación muy sencilla, pudiendo de ella obtener planos, especificaciones para fabricantes, cuantificación de obra, programa de obra, plan de secuencia de montaje, paseos virtuales realistas, diseño de maquetas e informes sobre los cálculos realizados y en sí, todo lo necesario para la correcta ejecución coordinada del proyecto (Pailiacho, 2014).

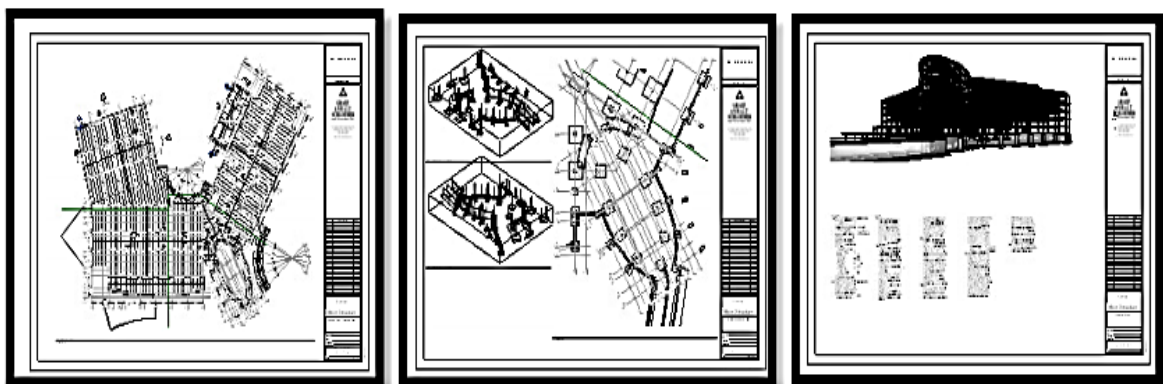


Figura 3.7. Documentación

Elaborado con información de Pailiacho (2014) y Murcio (2013).

3.4.3.7. Prefabricación

En el proceso BIM, la documentación generada permite la prefabricación de muchas piezas de la edificación. Esto es posible al tener en cuenta que con esta plataforma se pueden evitar conflictos en la construcción, ya que el modelo maneja un carácter de contemplación real, corrigiendo a tiempo posibles interferencias, ya sea físicas, como temporales, con lo cual se puede crear un plan de pedidos de fabricación, minimizando desperdicios y posibles atrasos en entregas (Pailiacho, 2014).

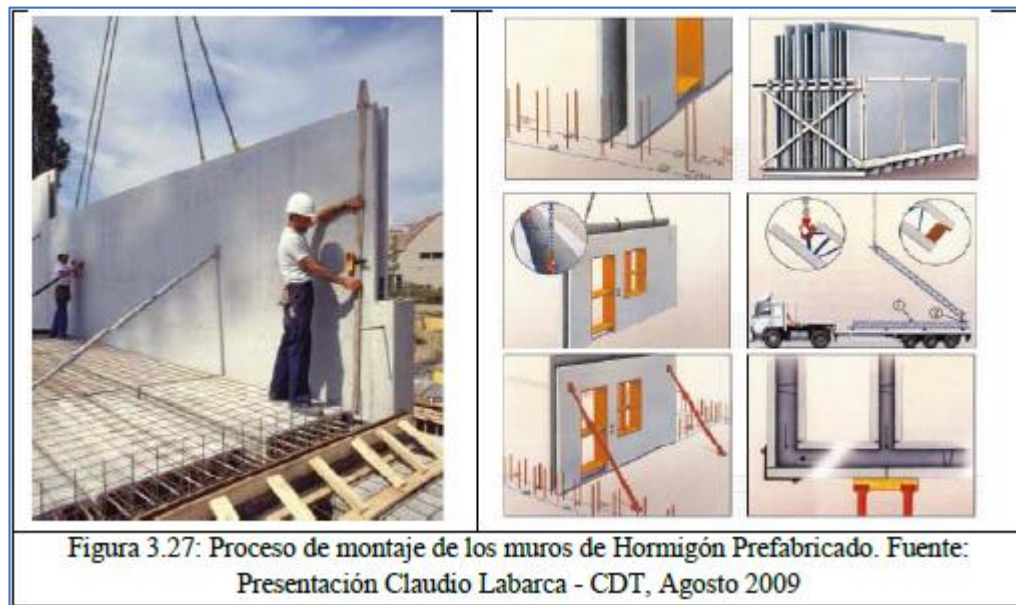


Figura 3.8. Proceso de montaje de los muros de hormigón Prefabricado

Fuente: (Saldias, 2010)

3.4.3.8. Logística de Construcción

Utilizando también la metodología BIM, es posible llevar un control de la planeación y seguimiento de la construcción, para que la obra se mantenga dentro de los tiempos requeridos, los montos presupuestados y con la calidad necesaria, así como el control de entrega de insumos, la disposición adecuada de los frentes de trabajo, para que con todo ello se pueda obtener un flujo constante y ordenado de trabajo.

Al disponerse de esta información en el modelo, se puede conocer en todo momento cual es el estado de la obra, su avance, la ubicación de la maquinaria y equipos especiales, cuáles son los estados de los pedidos y en sí, llevar el control de la obra en tiempo y costo, conociendo todos los factores que inciden en ella, con el fin de evitar conflictos o sorpresas (Pailiacho, 2014).

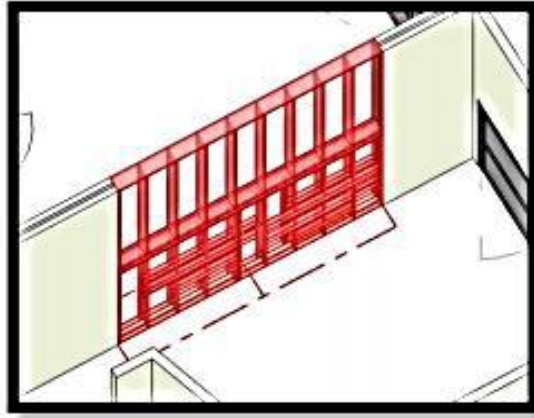


Figura 3.9 Ubicación de elementos

Elaborado con información de Pailiacho (2014) y Murcio (2013).

3.4.3.9. Operación y Mantenimiento

De acuerdo con el uso o servicio para el cual fue diseñada la edificación, a partir de la información disponible en el modelo BIM, se puede supervisar su correcto funcionamiento y mantener en óptimas condiciones los edificios, las estructuras, las obras de ingeniería civil, los equipos y la maquinaria de plantas industriales. Lo anterior proporcionando el mantenimiento apropiado, para asegurar una disponibilidad total de las instalaciones, reducir los costos por averías, disminuir el gasto por nuevos equipos, así como maximizar su vida. Al contener esta información en el modelo, se podrá tener un programa detallado de operación y mantenimiento, que nos permita llevar a cabo esta función de la mejor manera, así como tener identificados y monitoreados, los puntos delicados para operación, en donde se tendría que poner especial atención (Pailiacho, 2014).

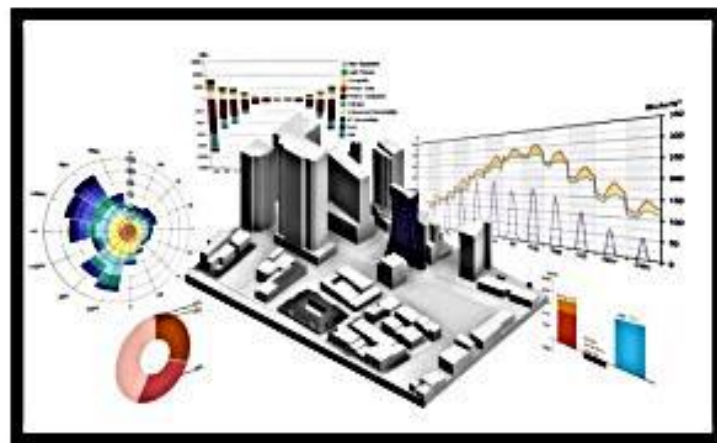


Figura 3.10 Operación y mantenimiento

Elaborado con información de Pailiacho (2014) y Murcio (2013).

3.4.3.10. Renovación

Al pasar del tiempo, algunas necesidades de la edificación pueden cambiar, sin haber agotado aun su vida útil, debido tal vez a una ampliación, a un cambio de maquinaria, aplicación de nuevas tecnologías, etc. Con la aplicación del modelo BIM, el estado de la infraestructura se conoce en todo momento, dado que toda esta información se tiene en el modelo de información, lo cual permite proyectar cualquier modificación de una manera expedita, integrando un nuevo proyecto en un modelo donde se retomarán las fases de diseño, construcción y operación (Pailiacho, 2014).



Figura 3.11 Ampliación

Elaborado con información de Pailiacho (2014) y Murcio (2013).

3.4.4. Herramientas tecnológicas BIM

3.4.4.1 Tipos de Software BIM:

Dependiendo de la naturaleza de la empresa y de cuales sean sus actividades generadoras de valor se debe escoger el software adecuado para las tareas. Una vez que los usuarios adquieran dominio del mismo es que podrán usar el mismo de manera más eficiente y aprovechar al máximo sus funciones (Montellano, 2013).

Existen distintos softwares para distintas ramas de la ingeniería y arquitectura. La Tabla 3.1 muestra cuales son los distintos softwares más empleados en la industria de la construcción:

Tabla 3.1 Software BIM y sus características.

Software BIM	Empleado en	Funcionalidad	Fuente de Información
Tekla Structures	Acero estructural, hormigón prefabricado, concreto in-situ, sistemas eléctricos, tuberías, muros cortina	Modelado, preproceso de análisis, detalles de fabricación, coordinación	www.tekla.com
SDS/2 Design Data	Acero Estructural	Detalles de fabricación	www.dsndata.com
StruCAD	Acero Estructural	Detalles de fabricación	www.acecadsoftware.com/steel_detailing
Revit Structures	Acero Estructural, Concreto in-situ	Modelado, preproceso de análisis	www.autodesk.com/revit
Revit MEP	Mecánica, Eléctrico, Plomería y tuberías	Modelado	www.autodesk.com/revit
3d+	Acero estructural		3dplus.cscworld.com/
Structureworks	Hormigón pre-fabricado	Modelado, detalles de fabricación	www.structureworks.net
Revit Architecture	Muros Cortina	Modelado	www.autodesk.com/revit
aSa Rebar Software	Concreto in-situ	Estimación, detallado, producción, contabilidad, rastreo de materiales	www.asarebar.com
Allplan Engineering	Acero estructural, hormigón in-situ, hormigón prefabricado	Modelado, detalle de refuerzo	www.allplan.com
Allplan Architecture	Muros Cortina	Modelado	www.allplan.com
Catia (Digital Project)	Muros Cortina	Modelado, análisis de elementos finitos, análisis de información para producción bajo control numérico computarizado	www.3ds.com
Graphisoft ArchiGlazing	Muros Cortina	Modelado	www.graphisoft.com
SoftTech V6	Muros Cortina	Modelado y detalles de fabricación	www.softtechnz.com
CADPIPE Commercial Pipe	Tuberías y plomería	Modelado y detalles de fabricación	www.cadpipe.com
CADPIPE HVAC and Hanger	Ductos de calefacción, ventilación y aire acondicionado	Modelado y detalles de fabricación	www.cadpipe.com

CADPIPE Electrical and Hanger	Conductos eléctricos, bandejas de cables	Modelado y detallado	www.cadpipe.com
Quickpen PipeDesigner	Tuberías y Plomería	Modelado y detalles de fabricación	www.quickpen.com
Quickpen DuctDesigner	Ductos de calefacción, ventilación y aire acondicionado	Modelado y detalles de fabricación	www.quickpen.com
Bentley Building Mechanical Systems	Ductos generales y de calefacción, ventilación y aire acondicionado	Modelado	www.bentley.com
Graphisoft MEP Modeler	Ductos generales y de calefacción, ventilación y aire acondicionado, bandejas de cables	Modelado	www.graphisoft.com
CADmep+ FABmep+	Ductos generales y de calefacción, ventilación y aire acondicionado	Modelado y detalles de fabricación	www.map-software.com
SprinkCAD	Sistemas de sprinkles contra incendios	Modelado y detallado	www.sprinkcad.com
Framewright pro	Pórticos de madera	Modelado y detalles de fabricación	www.encina.co.uk/framewright_pro.html
MWF-Metal Wood Framer	Acero de baja resistencia y pórticos de madera	Modelado y detalles de fabricación	www.strucsoftsolutions.com/mwf.asp

Fuente: Elaborado con información de Montellano (2013) y Eastman (2012)

3.4.4.2. Software de Modelamiento y Software de Gestión

El requerimiento de las plataformas BIM, ha crecido en importancia, a raíz del incremento en la información de la construcción y sus potenciales usos. Poseen diversas funcionalidades, permitiendo la correcta administración del proyecto, que va desde la arquitectura hasta la gestión de recursos. Los softwares que forman parte de estas plataformas se pueden dividir en dos grupos: COSTOS EDUCA

- Software de Modelamiento
- Software de Gestión

Tabla 3.2: Principales software BIM usados en Perú

	MODELAMIENTO			GESTIÓN		
	Arquitectura	Estructura	MEP	Clash Check	4D	5D
TEKLA		X		X	X	
REVIT	X	X	X	X		
BENTLEY	X	X	X	X	X	
ARCHICAD	X			X	X	
VICO				X	X	X
SYNCRO				X	X	X
NAVISWORKS				X	X	X

Fuente: (Costos Educa, 2018)

a) REVIT:

Desarrollado actualmente por Autodesk. Permite al usuario diseñar con elementos de modelación y dibujo paramétrico. BIM es un paradigma del dibujo asistido por computador que permite un diseño basado en objetos inteligentes y en tercera dimensión. De este modo, Revit provee una asociatividad completa de orden bi - direccional. Un cambio en algún lugar significa un cambio en todos los lugares, instantáneamente, sin la intervención del usuario para cambiar manualmente todas las vistas. Un modelo BIM debe contener el ciclo de vida completo de la construcción, desde el concepto hasta la edificación. Esto se hace posible mediante la subyacente base de datos relacional de arquitectura de Revit, a la que sus creadores llaman el motor de cambios paramétricos. (INSTITUTO CIENTIFICO DEL PACIFICO).

Disciplinas de Revit: Arquitectura, Estructura, MEP

Arquitectura:

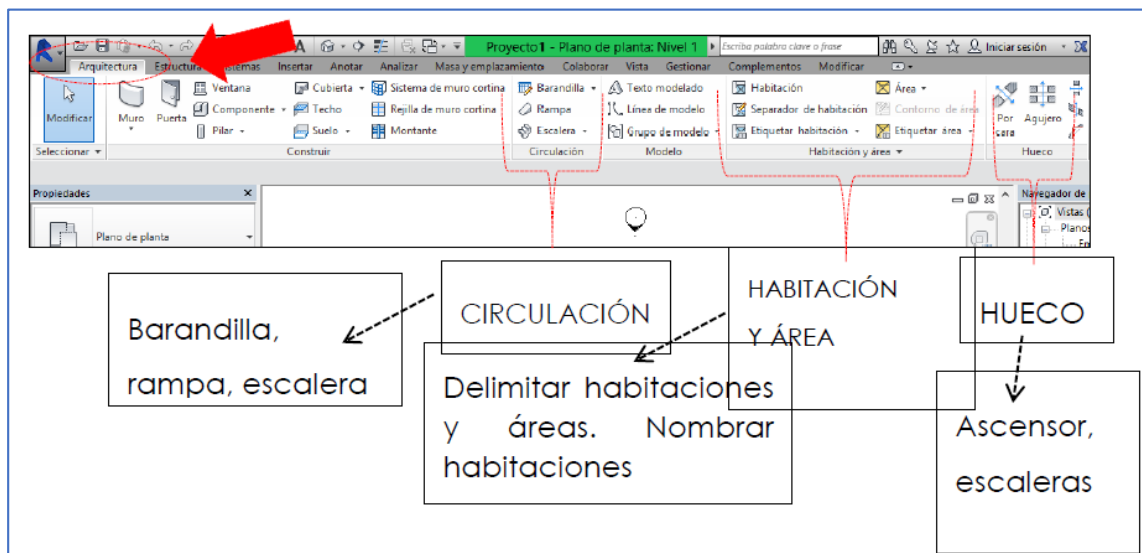


Figura 3.12 Revit Architecture 2018

- Se visualiza a detalle el modelo tridimensional, al realizar cambios en alguna vista, implica el cambio de todas las vistas automáticamente.
- El trabajar con Revit, brinda una serie de beneficios con relación a la información que nos comunica el modelo mismo.
- Cada elemento que se modela responde a toda una lista de características que nos detallan desde las dimensiones hasta el material que posee.

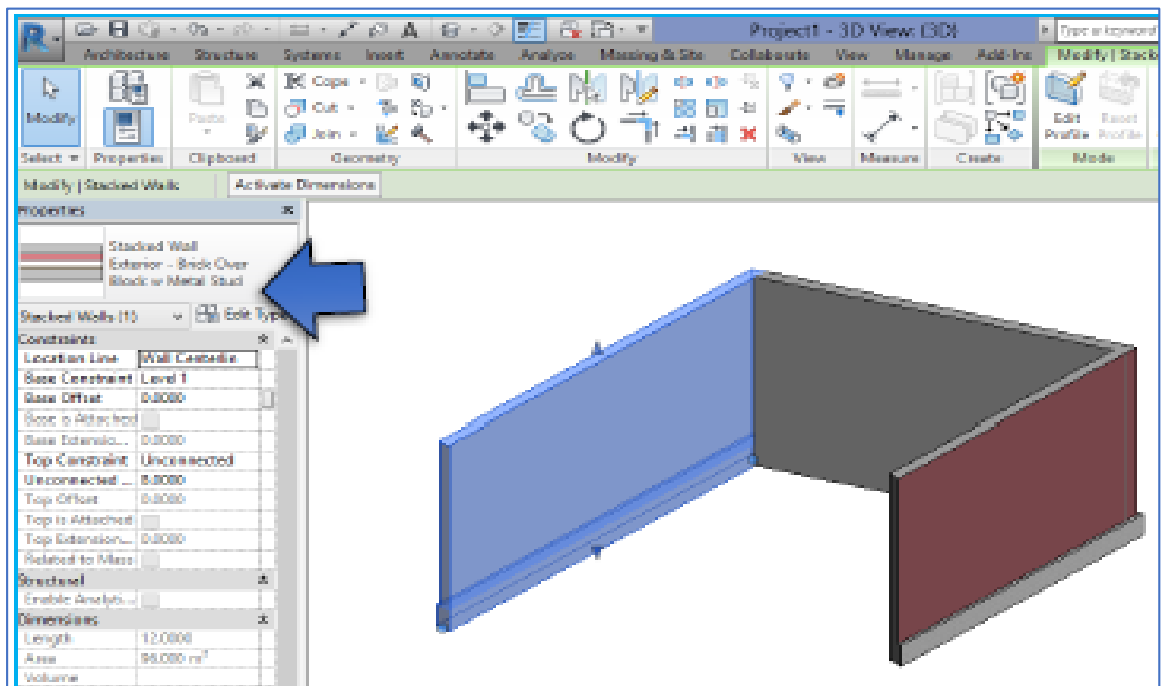


Figura 3.13. Revit Architecture 2018 - Propiedades

- Se visualiza los planos de plantas, cortes, elevaciones y vistas 3D en nuestro interfaz de trabajo al mismo tiempo, de esta forma podemos realizar una modificación en planta y visualizarlo inmediatamente en forma 3D, reduciendo el tiempo para modelar en comparación del sistema CAD 2D.

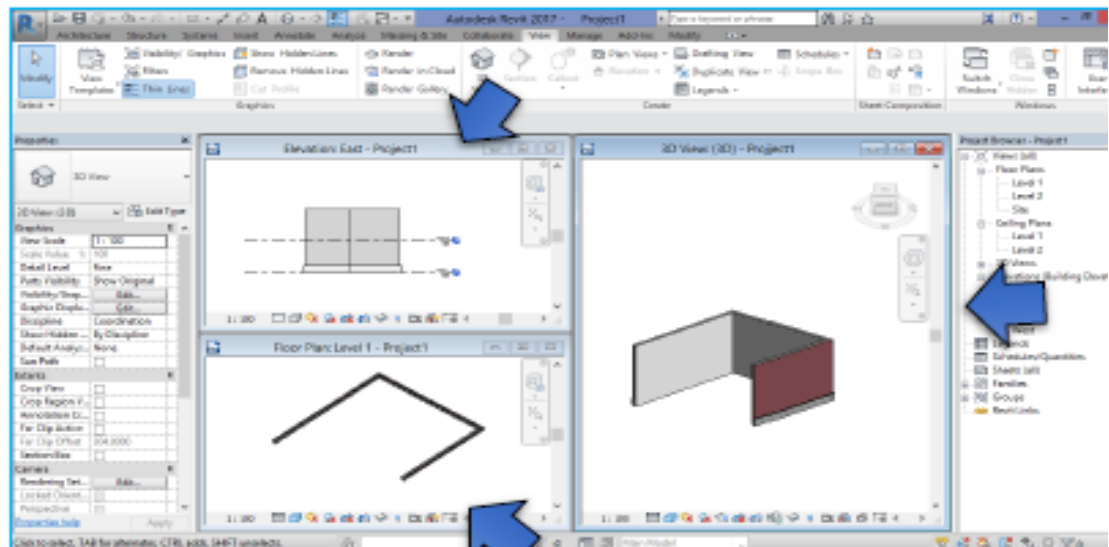


Figura 3.14 Revit Architecture 2018 – área de trabajo

- De las vistas de planta, obtendremos directamente las elevaciones y cortes del modelo, en 2D y 3D. Aplica el renderizado, en el cual visualizamos los acabados en su término real, otorgándonos una idea de la finalización de la edificación.

Estructuras

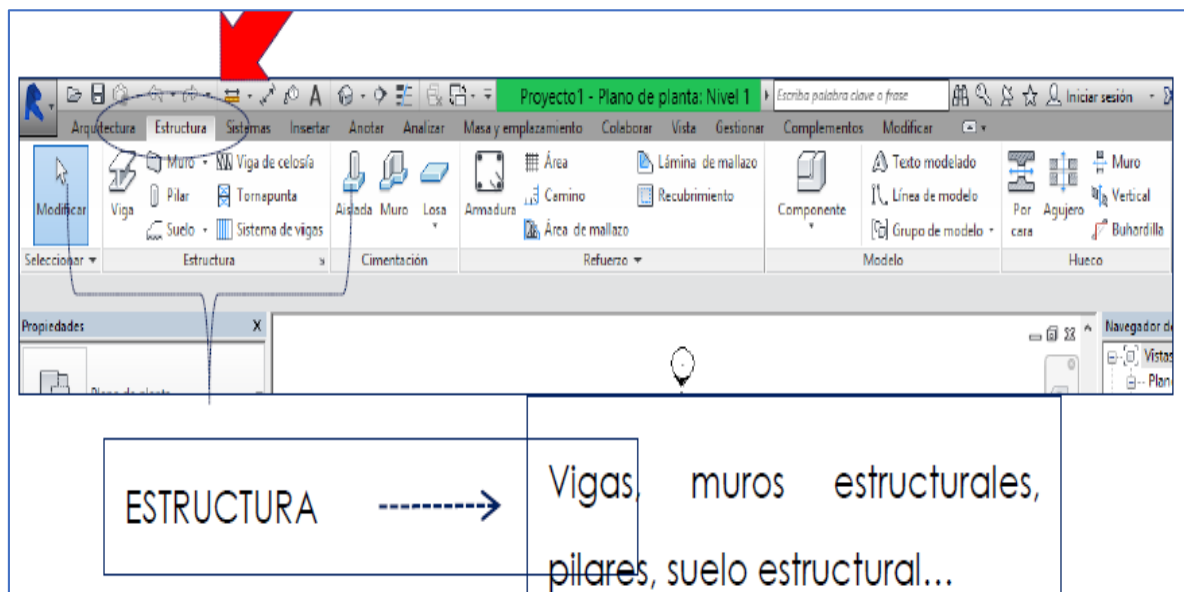


Figura 3.15 Revit structure 2018 – área de trabajo

MEP

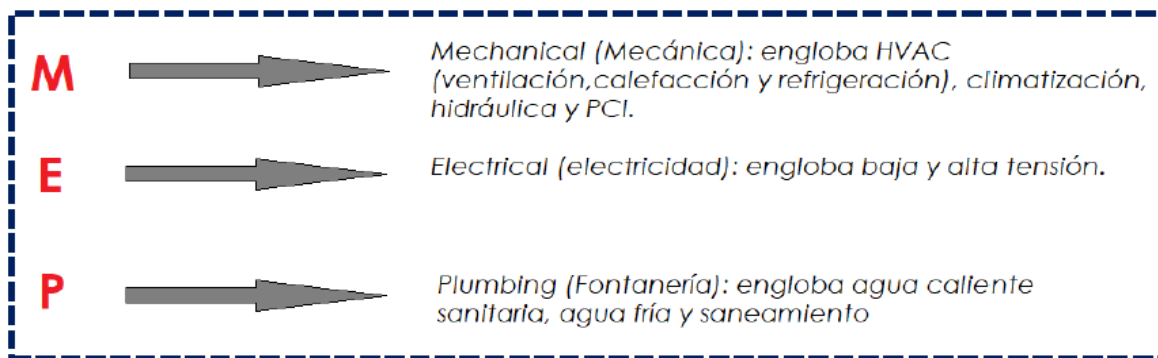


Figura 3.16 Revit MEP

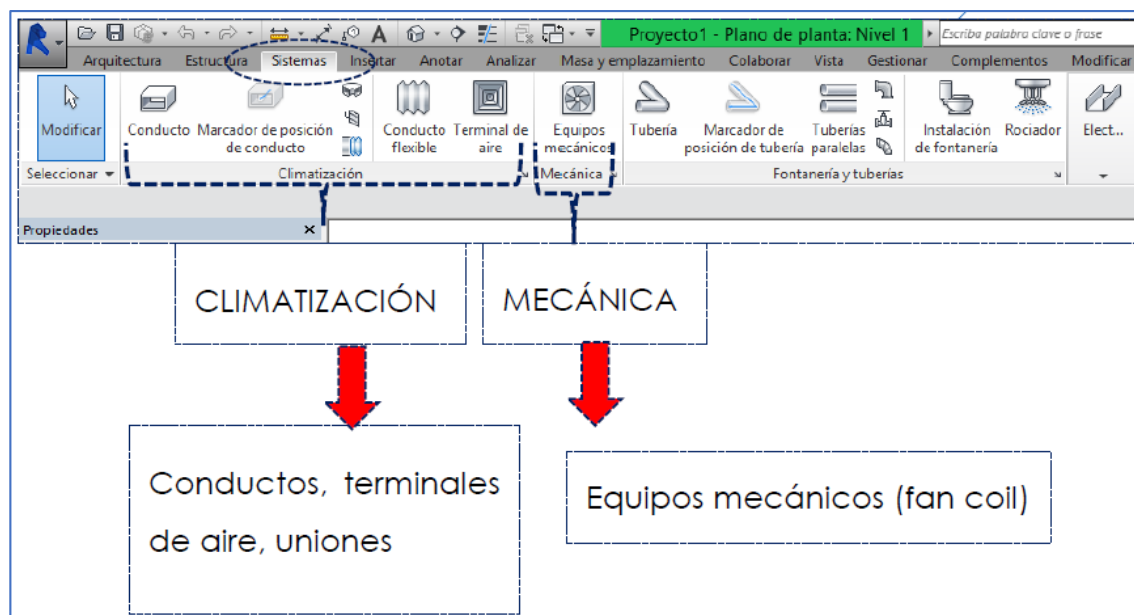


Figura 3.17 Revit MEP 2018

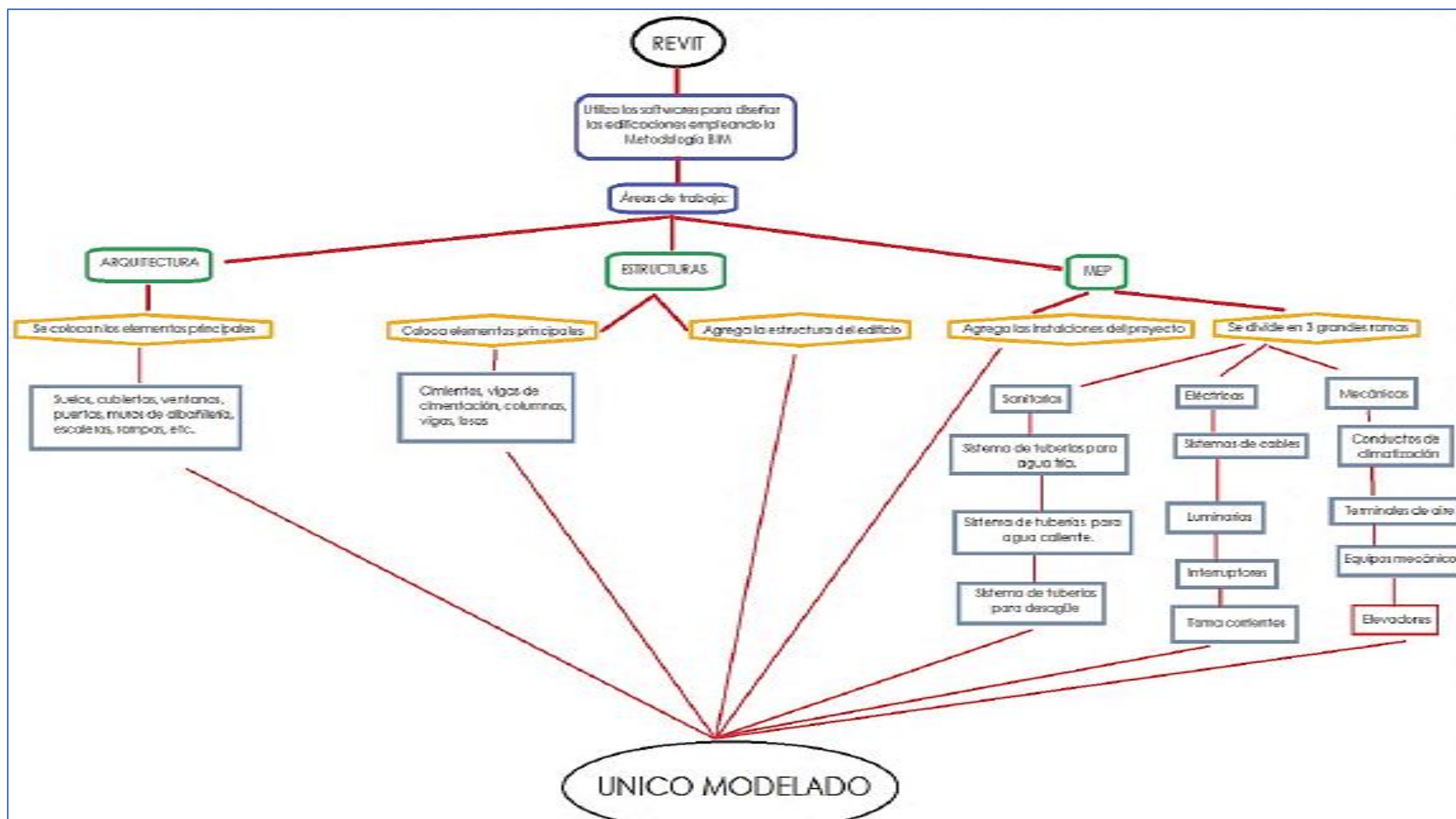


Figura 3.18: Línea de flujo del software Revit y sus aplicaciones
Fuente: ICIP, s.f.

b) TEKLA

Tekla Structures es un software de modelado de información de edificios (BIM) en 3D utilizado en las industrias de construcción y construcción para detalles de acero y concreto, prefabricados y fundidos in situ. El software permite a los usuarios crear y administrar modelos estructurales en 3D en concreto o acero, y los guía a través del proceso desde el concepto hasta la fabricación.^[9] El proceso de creación de planos de talleres automatizado, controlar la fabricación de hormigón prefabricado, importar en sistemas PLM Tekla Structures está disponible en diferentes configuraciones y entornos localizados para satisfacer diferentes necesidades específicas de cada segmento y cultura.

c) NAVISWORKS

Navisworks permite a los usuarios abrir y combinar los modelos 3D, navegar por ellos en tiempo real y revisar el modelo utilizando un conjunto de herramientas que incluye comentarios, punto de vista, y mediciones. Una amplia posibilidad de complementos mejora el paquete añadiendo detección de interferencias, simulación de tiempo 4D, renderizada foto realístico.

En definitiva, actualmente Navisworks es quizás una de las mejores herramientas de visualización en 3D. Es capaz de abrir todos los formatos de archivo de diseño 3D más populares, permite navegación interactiva, generar animaciones, representaciones fotorrealistas, clash detection, simulación de construcción 4D.

A groso modo se destaca sus beneficios:

- a) Herramienta de revisión indispensable con múltiples herramientas de medición.
- b) Capacidad de apertura de los 3D más habituales del mercado.
- c) Integración de nubes de puntos
- d) Clash detection
- e) Integración 4D y 5D
- f) Incorporación de la información proveniente de la herramienta BIM (Revit, Plant 3D)
- g) Posibilidad de anexar información a los elementos con un simple Link
- h) Creación muy sencilla de presentaciones y renders
- i) Uso de filtros de visualización

3.4.4.3. Modelación Paramétrica

El uso de esta tecnología se basa en crear maquetas tridimensionales con información paramétrica de sus elementos, con propiedades de materialidad, geometría, cantidades, propiedades particulares, costo o algún otro tipo de característica que se desee incluir. Está regido por datos estandarizados, permitiendo la interoperabilidad del modelo con los distintos participantes de un proyecto. Debido a que posee una gran facilidad de modelamiento paramétrico, es posible tener una representación virtual con datos necesarios para automatizar la gestión, por lo que cuenta con la ventaja de poder realizar planificación de obras y su visualización de construcción en tiempo real, logrando dar una visión más cercana de lo que se obtendrá como producto una vez finalizado, transformándose en una pre-construcción del proyecto en su totalidad (Pailiacho, 2014).

Al trabajar con objetos paramétricos inteligentes, se cuenta con una base de información que entrega tanto datos geométricos como materialidad, resistencia y otros, que les dan un valor agregado a los elementos, transformando una representación gráfica en una representación virtual siendo en conjunto un modelo con condiciones reales del proyecto. Además, la ventaja de esta parametrización de los elementos es que al cambiar sus propiedades se logra cambiar rápidamente su geometría, tarea extremadamente ventajosa al comparar con programas de diseño tradicionales basado solamente en representación gráfica (Pailiacho, 2014).

Se refiere a que los elementos son representados por parámetros y reglas que determinan la geometría y algunas propiedades no geométricas. Ejemplos:

- Se puede restringir el nivel superior de la columna al nivel inferior de la losa donde ambos elementos se unen. Así si cambio el nivel de la losa a una cota superior la columna automáticamente aumentará su altura (Saldias, 2010).
- Si se coloca una ventana o una puerta en un muro, no es necesario hacer previamente un hoyo en el muro de las dimensiones de la ventana o puerta, estos elementos inteligentes se dan cuenta del vínculo que existe entre estos. Luego, cuando se extraigan las cubicaciones, del hormigón utilizado, por ejemplo, el modelo por si solo se da cuenta de que hay una ventana en el muro y, por ende, no sumará los cubos de hormigón correspondientes a la parte donde existe el vano de la ventana (Saldias, 2010).
- Existen códigos y regulaciones que pueden ser embebidas para definir el comportamiento de los objetos. Por ejemplo, se podría definir la armadura mínima del muro, al introducir restricciones de la norma sísmica (Saldias, 2010).

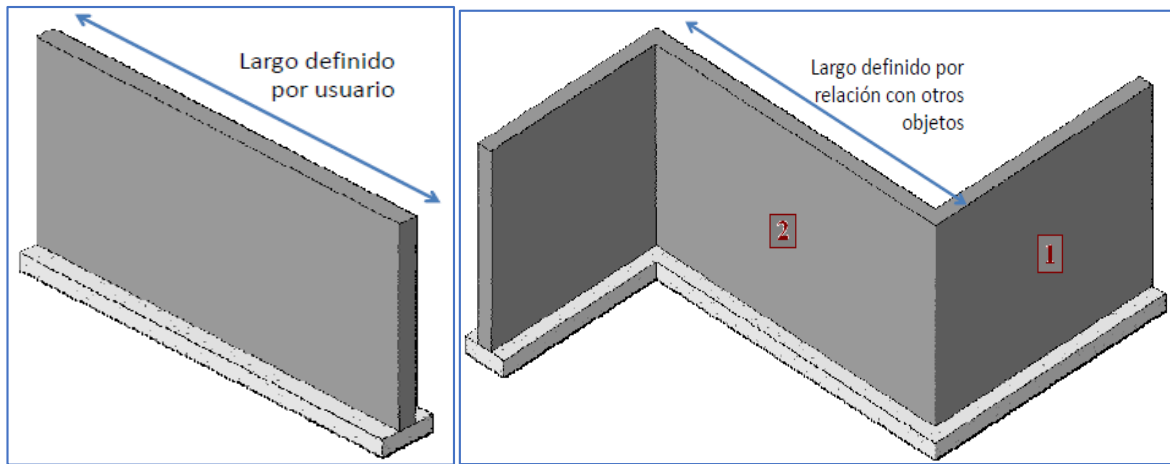


Figura 3.19 Ejemplos de Modelación Paramétrica
Fuente: (Saldias, 2010).

Es importante destacar que el modelamiento paramétrico tiene una jerarquía que se debe respetar: Las herramientas BIM definen familias de objetos de edificación (muros, columnas, vigas, losas, ventanas, etc.) y permiten al usuario crear nuevas. Estas familias permiten crear **instancias** (tipos) de cada uno de estos elementos. La forma de estas instancias depende de parámetros (largo, alto, espesor, tipo, etc.) y vínculos con otros objetos (ventana-muro, etc.). Los atributos de los objetos (información adicional), definidos automáticamente o por el usuario, son usados en distintos análisis de los modelos, análisis energéticos (necesario conocer el material con el que está hecho), de iluminación (altura y posición del elemento), de costos (tener la cubicación y el análisis de Precios Unitarios), etc.

3.4.4.4. Nivel de detalle BIM

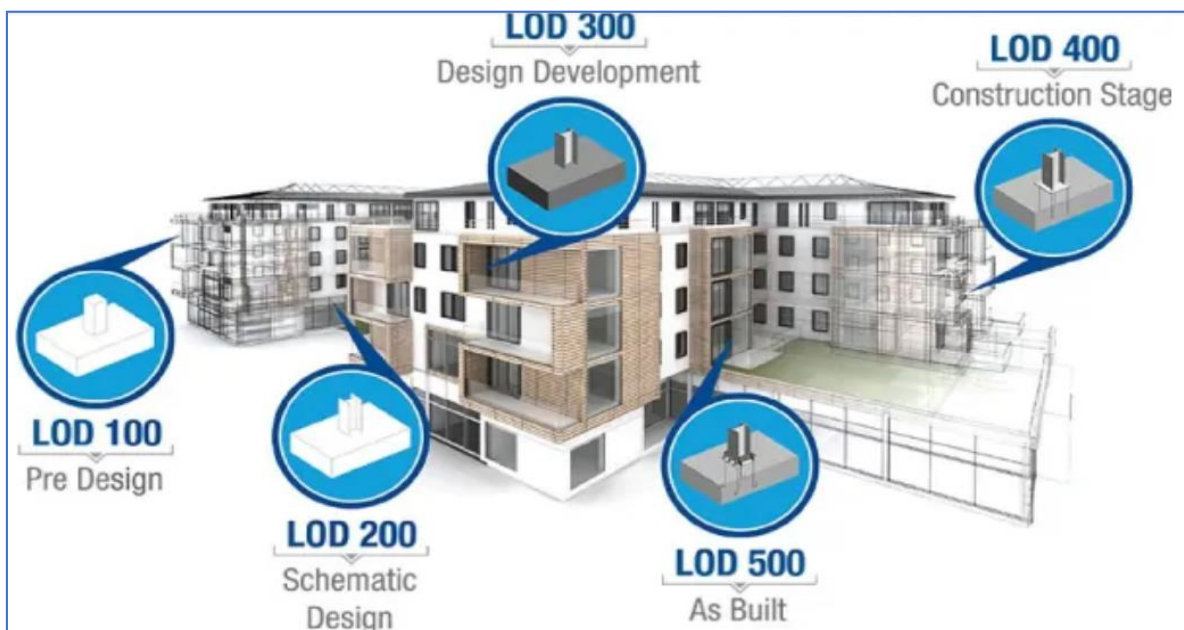


Figura 3.20. Nivel de detalle BIM
Fuente: (Imasgal, s.f.)

El 2002 el American Institute of Architects (AIA), asigna niveles de desarrollo del proyecto (Levels of Development o su abreviación: LOD) para cada una de sus fases. Los niveles son LOD 100, LOD 200, LOD 300, LOD 400, LOD 500. Cada uno de estos niveles hace referencia a contenido específico, autorizaciones para el uso del modelo y propósitos específicos del modelo. Weygant, (como se citó en Montellano, 2013).

LOD (Level of Development) define el nivel de desarrollo o madurez de información que posee un elemento del modelo, y este es la parte de un componente, sistema constructivo o montaje del edificio. Conviene aclarar que el LOD en ningún caso se refiere a la totalidad del proyecto y tampoco tiene vinculación con la fase de desarrollo o construcción (Imasgal, s.f.).

LOD 100

Este nivel representa generalmente es útil para un estudio de la masa y tamaño y volumen del proyecto. Tiene información básica sobre la forma general y la cantidad de metros cuadrados del proyecto. Se utiliza para estimaciones básicas de presupuesto y estudios de factibilidad (Montellano, 2013).

LOD 200

Es el nivel en el que se definen gráficamente el elemento, especificando aproximadamente cantidades, tamaño, forma y/o ubicación respecto al conjunto del proyecto. Puede incluir información no gráfica. El elemento objeto está determinado por su posición y ya posee una definición geométrica no completa. Tiene los datos aproximados de dimensiones, forma, ubicación y orientación. Su uso está vinculado a elementos genéricos o cuyas definiciones detalladas vienen dadas por agentes externos al proyecto. Es el LOD más bajo en el que se indica la posibilidad de incluir información no gráfica de un elemento, como puede ser el coste real (no estimado del LOD 100), así como características de envolventes, pesos, fabricantes y manuales de mantenimiento (Imasgal, s.f.).

Este nivel de detalle contiene elementos generalizados de sistemas, las paredes ya pueden ser definidas como paredes y tener un determinado espesor. Las aberturas podrán estar catalogadas como aberturas, pero no como ventanas o tragaluces específicamente. El techo podrá estar definido, pero no habrá especificaciones de material. Pueden existir elementos como puertas y pasamanos, pero estarán a manera más representativa del lugar que de las características que tomará al final (Montellano, 2013).

LOD 300

Es el nivel en el que se definen gráficamente el elemento, especificando de forma precisa cantidades, tamaño, forma y/o ubicación respecto al conjunto del proyecto. Puede incluir información no gráfica.

El elemento objeto está definido geométricamente en detalle, así como su posición, pertenencia a un sistema constructivo específico, uso y montaje en términos de cantidades, dimensiones, forma, ubicación y orientación. También se indica la posibilidad de incluir información no gráfica vinculada al elemento (Imasgal, s.f.).

Pueden no considerar el material exacto, pero presentan propiedades relativas a la funcionalidad como preferencias dimensionales y limitaciones además de información que

pueda ser útil en la elaboración de documentación para la construcción. Uno encuentra información específica sobre el componente, pero no de la forma de instalación o mantenimiento. Con este nivel de detalle se pueden elaborar presupuestos mucho más específicos (Montellano, 2013).

LOD 400

El elemento objeto está definido geométricamente en detalle, así como su posición, pertenencia a un sistema constructivo específico, uso y montaje en términos de cantidades, dimensiones, forma, ubicación y orientación con detallado completo, información de fabricación específica para el proyecto, puesta en obra/montaje e instalación. También se indica la posibilidad de incluir información no gráfica vinculada al elemento (Imasgal, s.f.).

En este nivel los objetos deben tener la precisión adecuada para crear documentos de construcción precisos y realizar análisis realistas del funcionamiento del sistema. La principal diferencia con el anterior modelo es la cantidad de información en el objeto y los detalles asociados (Montellano, 2013).

LOD 500

El elemento objeto está definido geométricamente en detalle, así como su posición, pertenencia a un sistema constructivo específico, uso y montaje en términos de cantidades, dimensiones, forma, ubicación y orientación. También se indica la posibilidad de incluir información no gráfica vinculada al elemento. Se verifica la información de este nivel en relación con el proceso constructivo finalizado (“as built”) y no es aplicable a todos los elementos del proyecto. El criterio válido será definido por la propiedad y las normativas correspondientes. La información de este nivel sustituye a las equivalentes de otros niveles inferiores en todos los casos. Elementos del modelo pueden estar definidos a nivel de LOD 500 sin haberlo hecho en niveles anteriores y se incluirá siempre el autor del mismo como agente responsable de su ejecución (Montellano, 2013).

3.4.4.5. Interoperatibilidad

El concepto de interoperabilidad se relaciona con el traspaso de datos entre programas computacionales. Es también un esfuerzo importante en la búsqueda por recuperar rápidamente información confiable y consistente desde otros programas computacionales. El traspaso expedito de datos entre especialidades (y por ende entre distintos softwares) es vital para hacer más eficiente los procesos de trabajo y una de las principales trabas que ha existido para una correcta operación de los sistemas BIM (Saldías, 2010).

Los problemas de interoperabilidad pueden ser:

- Vincular herramientas de distintas especialidades.
- Trabajar de distintas plataformas (distintos softwares) en una misma especialidad.
- Distintos procesos y/o culturas de trabajo de las organizaciones respecto a los niveles de detalle de los modelos, a los alcances de los trabajos y al nivel de conocimiento/competencias de cada empresa.

Por estos problemas es que nace la Industry Alliance for Interoperability (IAI) que es un consorcio global de compañías comerciales de software y organizaciones de investigación, cuya misión es permitir la interoperabilidad entre las herramientas computacionales utilizadas por todos los participantes de un proyecto en la industria AEC/FM. Su meta es definir y promover un formato de datos estándares de un modelo de edificación (denominada Industry Foundation Classes – IFC`s) (Montellano, 2013).

El formato IFC, “Industry Foundation Classes”, es un formato de datos de especificación abierta. Fue desarrollado por el IAI (International Alliance for Interoperability), predecesora del actual Building Smart, con el propósito de convertirse en un estándar que facilite la interoperabilidad entre programas del sector de la construcción.

De tal forma de que los participantes del proyecto puedan compartir información y que el modelo virtual de la infraestructura posea un lenguaje computacional común, asegurando la interoperabilidad entre distintas plataformas BIM (Montellano, 2013).

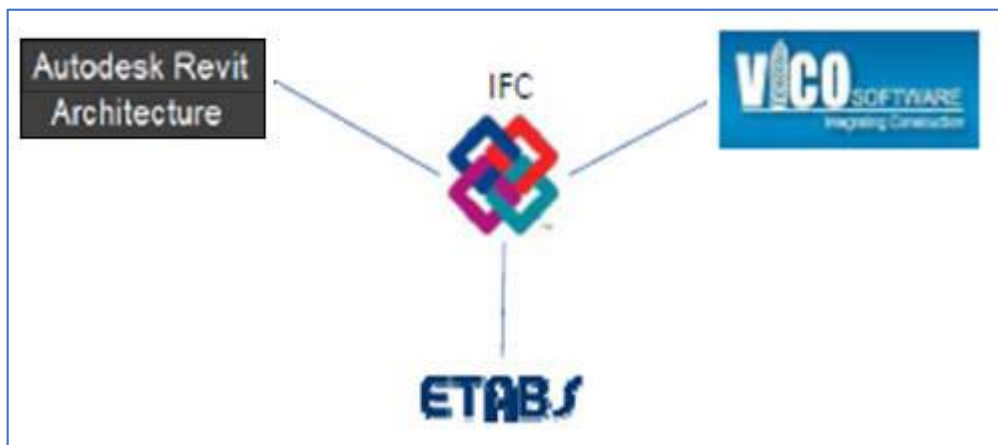


Figura 3.21 Un archivo de Revit puede ser grabado con extensión IFC y luego ser utilizado por VICO (para estimar los costos) y por ETABS para hacer el análisis estructural.

Fuente: (Montellano, 2013).

3.4.4.6. Casas de software

Es una realidad que los distintos especialistas utilizan diferentes softwares para la realización de sus diseños/ modelamientos. Comunicación entre los diferentes agentes que intervienen en el proceso constructivo, que permite dar soporte a la interacción entre ellos mediante un formato estándar (IFC) (Costos Educa, 2018).

Building Smart y OPEN BIM

- Open BIM es un enfoque universal al diseño colaborativo, realización y operativa de los edificios basado en flujos de trabajo y estándares abiertos. Open BIM es una iniciativa de varios vendedores de software que utilizan el sistema abierto de building SMART (Costos Educa, 2018).

- Building SMART es una asociación sin ánimo de lucro cuyo principal objetivo es fomentar la eficacia en el sector de la construcción a través del uso de estándares abiertos de interoperabilidad sobre BIM (Building Information Modeling) para alcanzar nuevos niveles en reducción de costes y tiempos de ejecución y aumento de la calidad. Es un enfoque universal al diseño colaborativo, realización y operativa de los edificios basado en flujos de trabajo y estándares abiertos (Costos Educa, 2018).
- Proporciona un flujo de trabajo transparente y abierto que permite la participación de los miembros del proyecto, independientemente de las herramientas de software que utilicen.
- Crea un lenguaje común para procesos ampliamente utilizados. Con ello, las industrias y los organismos oficiales pueden obtener proyectos comercialmente transparentes, con una mejor evaluación comparativa entre los servicios y con una calidad de los datos asegurada.
- Proveedores de software de plataformas pequeñas a grandes pueden participar y competir con sistemas independientes, buscando conjuntamente la mejor solución posible para el cliente.

3.4.5. Enfoque Lean

El lean construction es un sistema que tiene como finalidad eliminar o reducir al máximo los elementos que no aporten de manera positiva en recursos, tiempo, espacio u otros; para agregarle valor al producto, eliminando actividades innecesarias (desperdicios) (Guzmán, 2014).

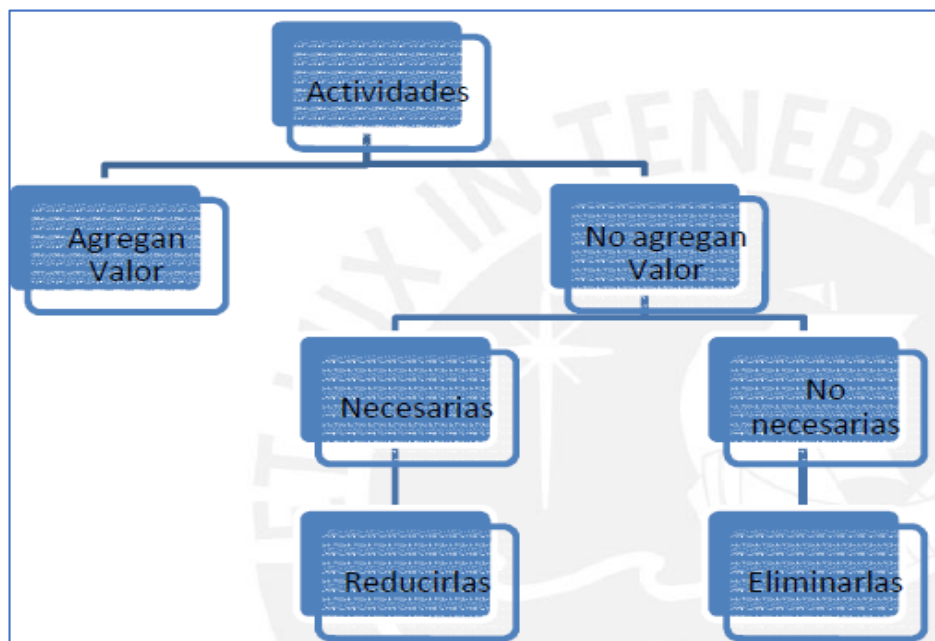


Figura 3.22 Clasificación de actividades según Lean Production
Fuente: Guzmán, 2014

La industria de la construcción en su modo tradicional se veía como una industria de conversión la cual tomaba materiales, los transformaba y los entregaba como producto terminado. El sistema de producción Lean es visto como un flujo y las teorías que tiene se aplican a una producción de flujo.

Por tal motivo la filosofía lean construction considera la construcción ya no como solo una transformación, sino como un flujo de materiales y recursos para la obtención de un producto, para que de esta manera se puedan aplicar los principios de la producción lean, ya que el flujo de procesos permite visualizar las abundantes pérdidas que usualmente se encuentran en la construcción y que el modelo de conversión no nos permite ver (Guzmán, 2014).

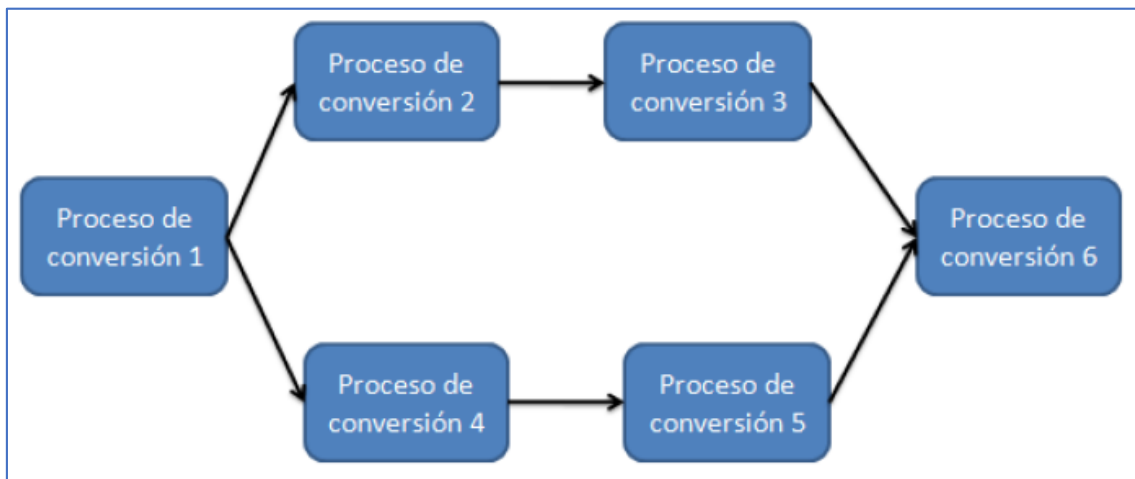


Figura 3.23. Procesos de conversión
Fuente: Guzmán, 2014

La complejidad de la industria de la construcción también juega en contra para aplicar los principios del lean production. Cada proyecto de construcción es diferente y se desarrolla en un ambiente incierto incluso proyectos similares son desarrollados de manera totalmente distinta.

La filosofía Lean Construction busca dar una solución a los problemas que se tiene en la metodología actual de construcción en lo que respecta al costo, plazo y productividad en las obras (Guzmán, 2014).

3.4.5.1. Principales principios de Lean

- Genera mayor valor al cliente
- Permite mejorar los procesos de producción
- Reducir desperdicios
- Reducir variabilidad
- Estandarización con la ayuda de flujos de trabajo y procesos de conversión que optimizan la producción.
- Colaboración entre diseño y construcción

3.4.5.2. Herramientas lean:

- Integrated Project Delivery (IPD):

Es un sistema integrado de entrega de proyectos que busca alinear intereses, objetivos, y practicas renovando la organización, el sistema de operación y los términos comerciales que rigen el proyecto. Los principales miembros del equipo del proyecto son el arquitecto, los consultores técnicos, así como el contratista general y los subcontratistas principales de especialidad. Estos miembros forman una organización capaz de aplicar los principios y prácticas del sistema de entrega de proyectos lean. El sistema integrado de entrega de proyectos busca involucrar a todos los participantes de un proyecto (proyectistas, consultores, contratistas, proveedores, especialistas, etc.) para poder generar un producto con valor agregado hacia el cliente, generando ahorro para este y mayores utilidades para las empresas involucradas (Guzmán, 2014).

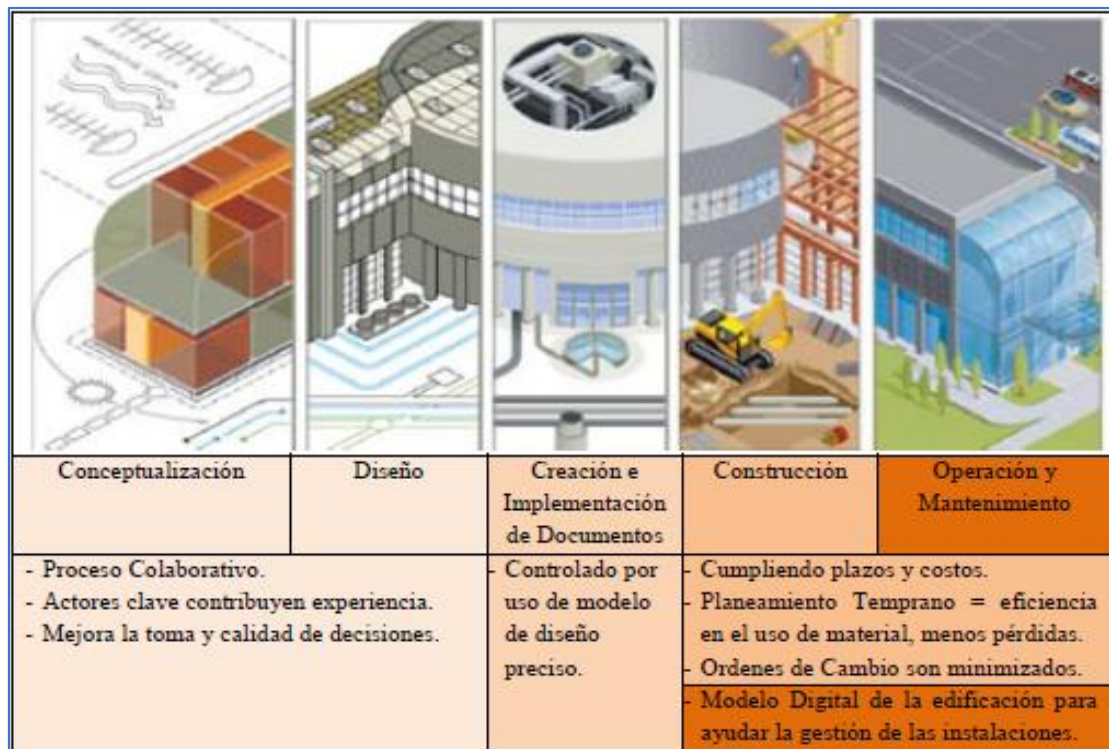


Figura 3.24 Ventajas del método IPD integrado con BIM

Fuente: Saldias, 2010

- Last Planner System:

Fue desarrollado por los investigadores Ballard y Howell, esta herramienta permite asegurar el cumplimiento de las actividades planificadas utilizando principios de lean Construction. Plantea que la brecha entre lo que debería hacerse y lo que realmente se hace, debe asegurarse con la inclusión de los “últimos planificadores”, Last Planner (maestros de obra, subcontratistas, jefes de cuadrilla, etc...) en la planificación (Costos Educa, 2018).

Esta planificación debe ser integrada, colaborativa y secuencial – realista, que parte del tradicional Plan maestro que define los hitos y fases.

Con ayuda de las sesiones ICE, los involucrados proponen con un mayor detalle una programación de 4 a 6 semanas llamada Lookahead (mirar hacia el futuro) donde se aplica un análisis de restricciones que define realmente lo que se puede hacer en un Plan Semanal, esta herramienta permite la realimentación con todos los involucrados con indicadores de mejora continua como el porcentaje de Planificación Cumplida (PPC) y con las razones de No Cumplimiento (RNC).

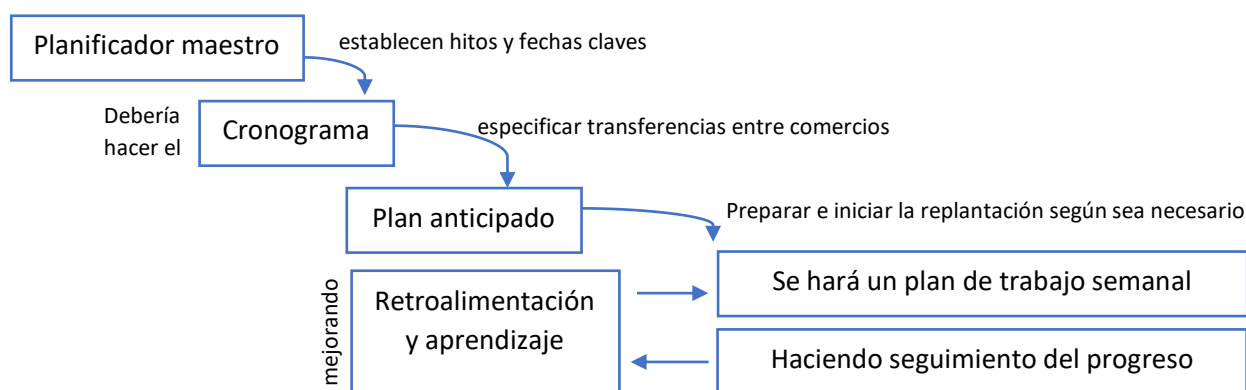


Figura 3.25 Esquema de Last Planner System

Fuente: Costos Educa, 2018

En el Plan Maestro, se establecen hitos y fechas claves de las actividades que conforman un proyecto, plasmar en un cronograma especificando sectores a habilitar en determinados plazos.

Tabla 3.3 Hitos y fechas de las actividades

ACTIVIDAD	MESES							
	OCT.	NOV.	DIC.	ENE.	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.
Obras Provisionales	♦							
Movimientos de Tierras			S2					
Calzaduras			S2					
Cimentación			S2					
Muro de Contención				S2 S1				
Columnas y Placas				S2 S1 1P	2P 3P 4P	5P 6P 7P		
Vigas y Losas				S2 S1 1P	2P 3P 4P	5P 6P 7P		
Tabiquería					1P	S2 2P 3P	4P 5P	6P 7P
Tarrajeos						S1 1P 2P	3P 4P	5P 6P
Pisos					S2		1P 2P	3P 4P

Fuente: Costos Educa, 2018

Se prepara la planificación, lo más conveniente es establecer el plan semanal y analizar las restricciones para poder resolverlas a la brevedad y poder cumplir con el Plan Maestro.

Tabla 3.4 Plan semanal

ACTIVIDAD	ENERO																														
	SEM 11-01								SEM 11-02							SEM 11-03							SEM 11-04								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
Columnas y Placas																															
Fierro Columnas y Placas																															
Encofrado Columnas y Placas																															
Concreto Columnas y Placas																															
Losas, Vigas y Escaleras																															
Fierro Losas, Vigas y Escalera																															
Encofrado Losas, Vigas y Escalera																															
Ladrillo de Techo																															
Concreto Losas, Vigas y Escalera																															

Fuente: Costos Educa, 2018

Se realiza un seguimiento de los trabajos, para revisar si se cumplió el Plan o no se cumplió el Plan Semanal, ayudando de esta manera en la mejora de la retroalimentación y aprendizaje.

Tabla 3.5 Restricciones

ACTIVIDAD	ENERO						Und	Metrado	RESTRICCIONES						Liberado	
	Sem 11-03								Información	Actividad Precedentes	Espacio	Mano de obra	Material	Equipos		Condiciones Externas
	17	18	19	20	21	22										
Columnas y Placas																
Fierro Columnas y Placas							kg	4,000	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	Si
Encofrado Columnas y Placas							m²	250	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	Si
Concreto Columnas y Placas							m³	23	ok	ok	ok	ok	Falta agregados	ok	ok	No
Losas, Vigas y Escaleras																
Fierro Losas, Vigas y Escalera							kg	2,900	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	Si
Encofrado Losas, Vigas y Escalera							m²	255	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	Si
Ladrillo de Techo							und	2,900	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	Si
Concreto Losas, Vigas y Escalera							m³	70	ok	ok	ok	ok	Falta agregados	ok	ok	No

Fuente: Costos Educa, 2018

3.5. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS:

Técnicas de recolección de datos: Recolección de gabinete.

Instrumentos de recolección de datos: Revisión bibliográfica.

3.6. ASPECTOS ÉTICOS:

El presente trabajo de investigación cumple con los aspectos éticos que demanda, presentando la declaración jurada de originalidad del presente trabajo de investigación, indicando no ser copia de otro trabajo. En cuanto a las fuentes de información empleadas, fueron referenciadas de acuerdo con la normatividad vigente, respetando los derechos de autor.

CAPITULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 RESULTADOS

4.1.1. ALCANCE DE LA PROPUESTA

La presente propuesta, está adaptada de las diferentes referencias bibliográficas, revisadas y analizadas, siguiendo los procesos, técnicas y herramientas de implementación descritos en el presente trabajo de investigación.

La propuesta que se presenta busca acelerar la industrialización/ automatización del sector de la construcción usando la tecnología BIM, de la mano con la metodología VDC (Virtual Design Construction), se busca mejorar la gestión de proyectos alcanzando los objetivos de la organización.

Un paso muy importante para acelerar la industrialización de la construcción es la inclusión de cláusulas que obliguen a los constructores a construir solo con planos de ingeniería de detalle obtenidos de modelos BIM, con ello se aseguraría el uso correcto de la tecnología y se iniciaría una fase de mejora continua en construcción virtual.

Implementar VDC (Virtual Design Construction) requiere un liderazgo transformador, es un cambio más social que técnico, fomentando el compromiso con la organización y una real voluntad por colaborar. VDC no es el futuro, es el presente, es una nueva forma de gestionar los proyectos de construcción, usando la tecnología al servicio de este sector.

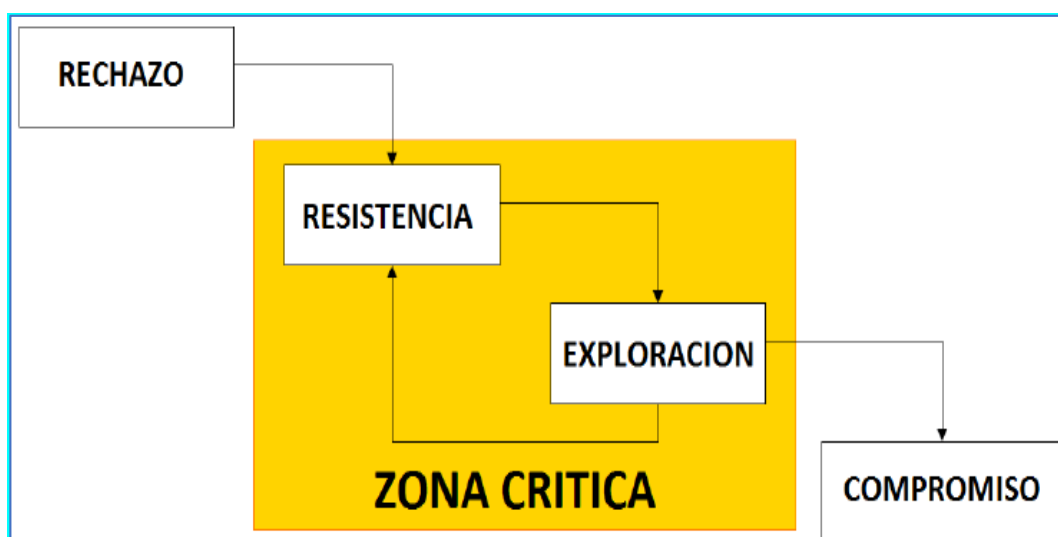


Figura 4.1 Cambio socio – técnico.

4.1.2. PROPUESTA

Se propone la implementación de la metodología VDC (Virtual Design Construction), siguiendo los procesos y herramientas BIM, mediante cinco puntos:

- Congregar, a todos los involucrados en un proyecto de construcción.
- Uso de la tecnología BIM
- Comunicar y compartir, la información obtenida del modelo
- Analizar los resultados de las métricas
- Automatizar los procesos antes vistos.

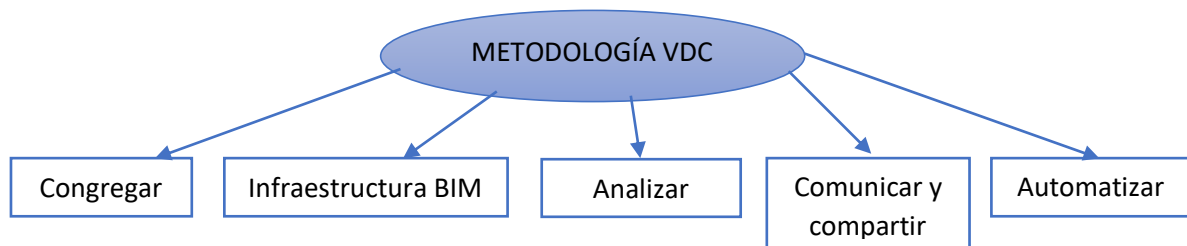


Figura 4.2. Metodología VDC (Virtual Design Construction) propuesta.

4.1.2.1. Congregar a los involucrados

a) Sistema de contratación de especialistas

Para poder implementar la metodología propuesta, es necesario contratar a los actores idóneos para modelar en BIM, se solicitará un Modelador BIM, puede ser ingeniero o arquitecto, capacitado en modelamiento en 3D y en 4D, en las diferentes especialidades (arquitectura, estructuras, MEP).

Estos especialistas deberán ser capaces de coordinar y colaborar bajo los procesos de la metodología VDC, aplicando los flujos de comunicación eficiente, y participando activamente con los demás involucrados del proyecto.

b) Inclusión de subcontratistas y proveedores

Esta propuesta rompe el esquema tradicional de diseño inicial aislado y con pocos recursos e involucra no solo a los constructores sino también a los subcontratistas y proveedores quienes cuentan ya con la mayor parte del costo del proyecto, parte de este costo deberá usarse para colaborar en la definición temprana del diseño y constructabilidad del proyecto.

Para poder plantear una mejora en la aplicación de BIM entendamos que actualmente se viene desarrollando principalmente un BIM de compatibilización.

Para poder calcular los costos de tener proyectos más detallados partimos de las implementaciones actuales de este BIM de compatibilización realizado para suplir las deficiencias de un proyecto tradicional, el costo de este servicio está en el orden del 0.5 % del costo del proyecto, este costo pequeño es asumido normalmente por el constructor.

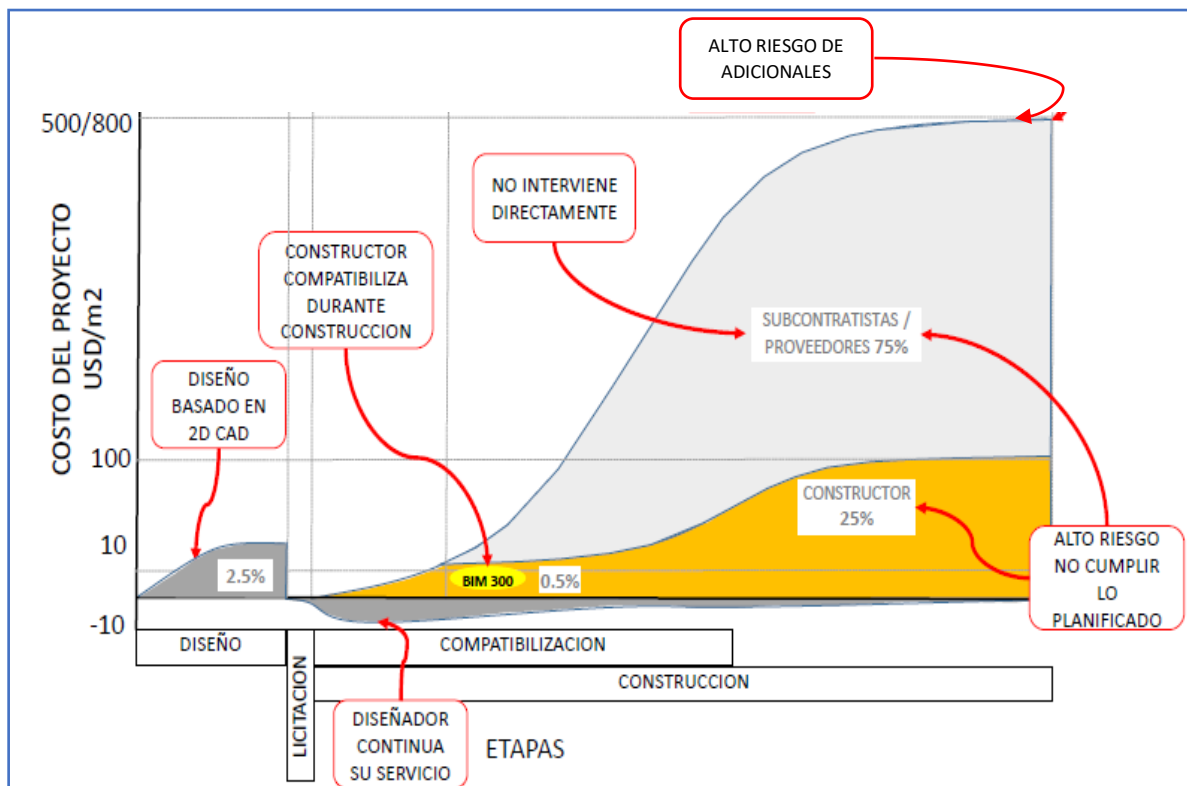


Figura 4.3. Actual BIM: Compatibilización

Fuente: Costos Educa, 2018

El costo de un proyecto tradicional desarrollado con CAD 2D tiene un costo de diseño aproximado del 2.5%, un costo del constructor del 25% y un costo a pagar a proveedores y subcontratistas del orden del 75%.

Asimismo, se aprecia en el gráfico que se tiene una fragmentación entre la mínima solución BIM de 0.5 % y la participación de proveedores/ subcontratistas, este es otra causa principal que genera proyectos poco detallados ya que no toman en cuenta los componentes reales del proyecto a pesar de que se está teóricamente aplicando “BIM”.

Para lograr un detalle real del producto se propone realizar un modelamiento BIM de producción que incluye las variables de constructabilidad y que debe ser desarrollado con la inclusión de los proveedores de los componentes.

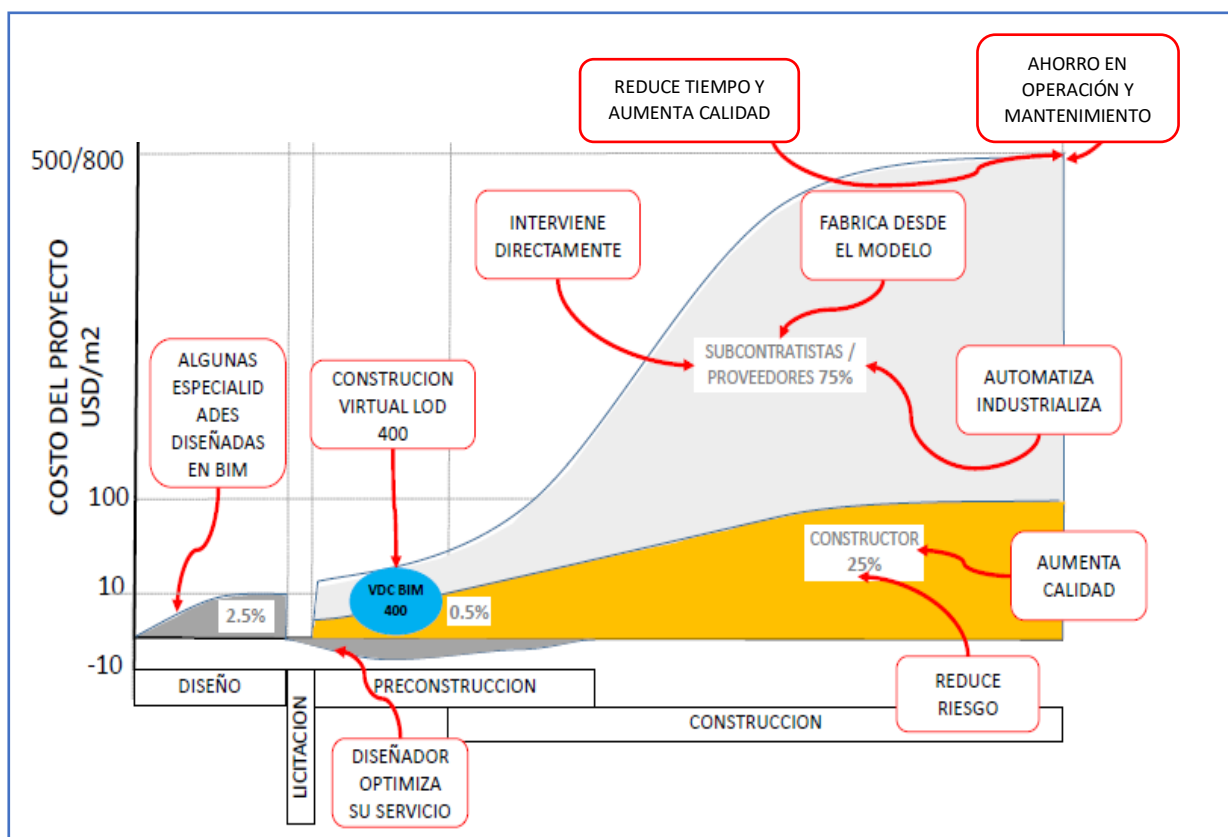


Figura 4.4. Propuesta: Preconstrucción VDC/BIM

Fuente: Costos Educa, 2018

Esta propuesta se basa en que para la definición del diseño del proyecto son tan importantes los diseñadores como los subcontratistas y proveedores, teniendo claro al constructor como nexo.

Esta integración es totalmente viable en los tipos de contratación actuales, solo es necesario un ajuste en la distribución de los costos de diseño y construcción que advierte un necesario balance que complemente los recursos de diseño en etapas tempranas, este complemento es el recurso de proveedores y subcontratistas que debe llevarse a etapas de diseño.

Este modelamiento en si puede tener un valor de hasta cinco veces el costo del modelamiento BIM de compatibilización actual, básicamente por tener mucha más información, los detalles necesarios para la fabricación industrial y las especificaciones para montaje en obra. El modelamiento BIM para producción puede ser sin problema asumido también por los proveedores quienes deberán participar necesariamente desde etapas tempranas.

Los subcontratistas, fabricantes y proveedores se verán inicialmente obligados a usar prototipos digitales, se darán cuenta luego de los ahorros que también se generarán en sus procesos internos. El servicio de los subcontratistas y proveedores debe incluir el modelamiento de los productos y procesos suministrados, al igual que en la construcción real sus modeladores deben ser expertos en su especialidad y poder representar en el modelo exactamente los productos tal cual serán montados en obra. Para acelerar la industrialización y automatización los fabricantes y proveedores deben asumir la responsabilidad de definición del detalle que complementa al diseño básico.

Con esto se logra un cambio radical a lo que venía pasando actualmente donde los constructores esperaban lentamente y sin certeza que los diseños sean cada vez mejores con BIM y en lugar de ello tomar acción y utilizar ya el poder de compra que tienen para lograr de los proveedores, la generación de prototipos digitales precisos de los componentes industriales y procesos de montaje que serán suministrados.

Importante también destacar que una mayor definición del diseño genera un beneficio enorme para los proyectistas que verán reducido el común tiempo separado para resolver consultas post diseño que van saliendo a medida que inicia el proyecto, este recurso liberado debería ser utilizado para aumentar su productividad con la tecnología BIM.

c) Equipo BIM

Para la implementación BIM se requiere disponer de un equipo BIM dentro del proyecto, se requiere de un coordinador general BIM, él guía y proporciona las directrices para un buen trabajo en equipo, este coordinador tiene una estrecha relación con el jefe de proyectos, quien supervisa aprueba o desaprueba sobre modificaciones o la toma de decisiones sobre el modelo en 3D y 4D, dicho modelo estará a cargo de un ingeniero diseñador, es decir un proyectista trabajando de la mano con su modelador BIM, para cada una de las especialidades, arquitectura, estructuras y MEP, tal modelador debe estar capacitado para asegurar un correcto empleo de las herramientas tecnológicas que ofrece BIM cada una de estas áreas tendrán un subcoordinador BIM, o jefe de grupo. A ellos se suman los contratistas, subcontratistas y proveedores, que participarán activamente desde la etapa de diseño. Es importante que el flujo de comunicación entre cada uno de los involucrados sea eficiente y su trabajo sea expresado de manera horizontal para todas las partes.

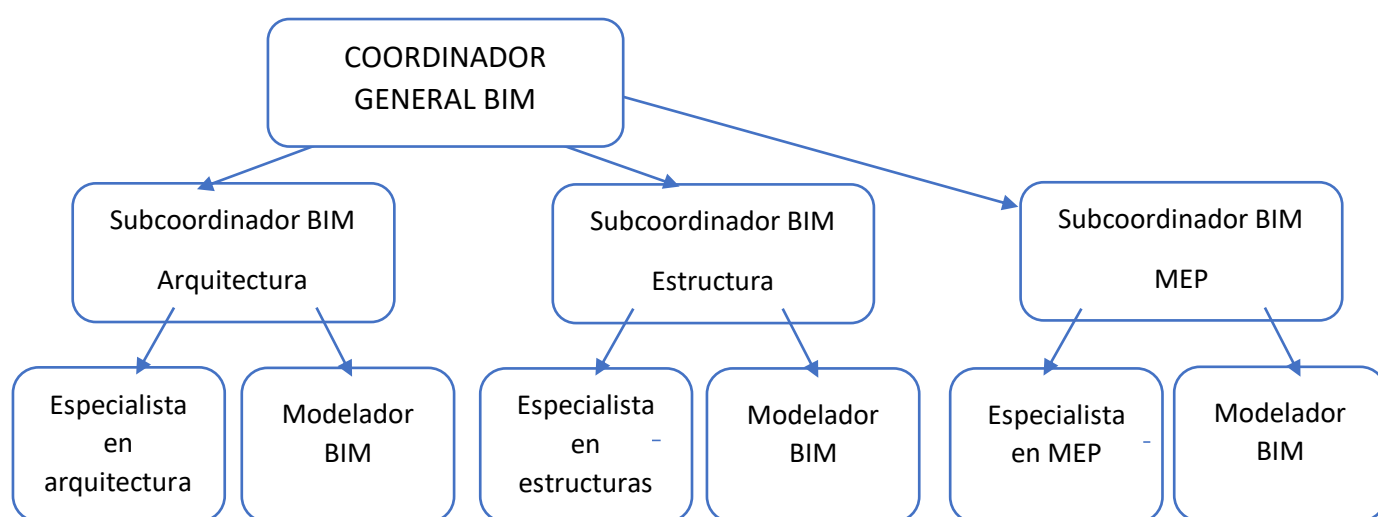


Figura 4.5. Equipo BIM

Fuente: Modificado de: Equipo Bim (Costos Educa, 2018)

d) Roles y personal organizacional

Es importante establecer a los principales involucrados y definir sus roles, se describirá los cargos en sí y la conexión con los otros integrantes del equipo de trabajo, a continuación, se presenta una propuesta de organización:

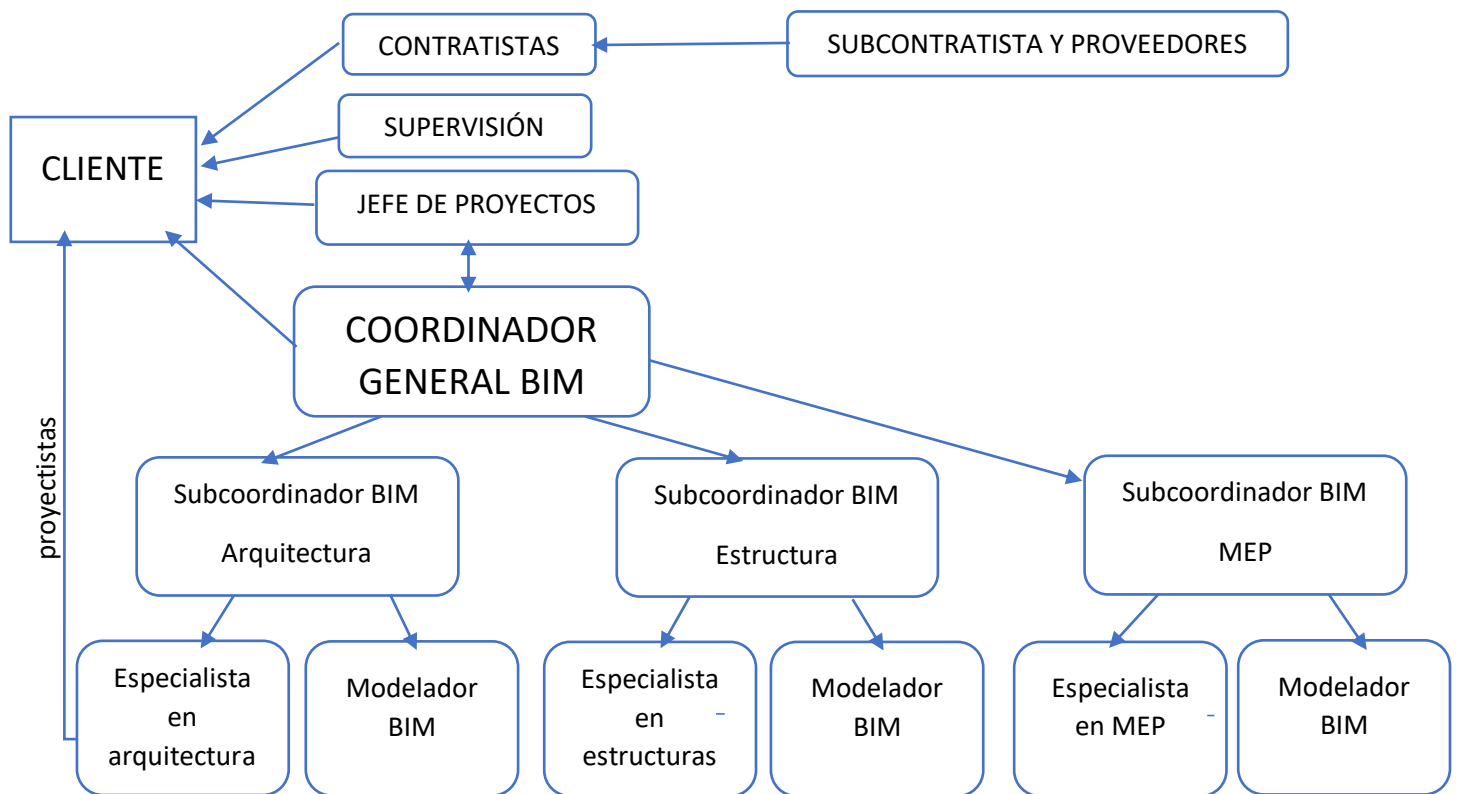


Figura 4.6. Personal organizacional

Fuente: Modificado de (Costos Educa, 2018).

Jefe de proyectos:

- Monitorear y supervisar el correcto cumplimiento del plan de implementación BIM.
- Asistencia a las sesiones de trabajo.
- Aprobación de las decisiones tomadas referente al diseño del proyecto.
- Tendrá comunicación directa con el jefe de obra, contratistas, subcontractistas y proveedores.

Coordinador general BIM:

- Es la persona experta y capacitada en el proceso de implementación BIM en etapa de diseño.
- Aprobará el entregable final de las diferentes especialidades.
- Agendará y liderará todas las sesiones de trabajo, reuniones de coordinación BIM, de inicio a fin, que se realizarán durante el diseño del proyecto.
- Generará todos los reportes vinculados a la tecnología BIM, como estadísticas post sesiones, verificación de avance del modelado, monitoreo a los proyectistas, toma de indicadores. Evaluará constantemente el proceso de coordinación BIM, con la finalidad de aplicar mejoras.
- Es quien tendrá la comunicación directa con los proyectistas y el jefe de proyecto.
- Comparar el avance de la implementación de la metodología, con las metas establecidas.
- Realizará las capacitaciones e inducciones de la metodología BIM planteada.
- Redacción y exposición del informe final.

Subcoordinador BIM de las diferentes especialidades

- El subcoordinador será el responsable de la integración del modelo 3D de las diferentes especialidades, modelos que serán entregados por los especialistas.
- Generará los reportes de interferencias y realizará el seguimiento de estos.
- Asistirá al coordinador BIM y participará en las sesiones de trabajo.

Proyectista

Es el encargado de diseñar el proyecto en su especialidad, y otorgarle los datos al modelador BIM. Levantará las observaciones y realizará las modificaciones expresadas por el coordinador BIM y el jefe de proyectos, de acuerdo con las decisiones tomadas en cada reunión y al avance de las simulaciones detentando las interferencias.

Modelador Bim:

- Maneja y presenta el modelo 3D-4D.
- Soporte en la planificación y control de obra.
- Soporte para los metrados y presupuestos.

El cliente, jefe de obra, los contratistas, proveedores, tendrán que asistir a las sesiones, y seguirán de cerca el diseño del proyecto, así llegarán a la etapa de construcción con la visión objetiva de cómo se ejecutará la edificación.

e) Implementación de las sesiones ICE:

Se propone la implementación de las sesiones ICE (Integrated Construction Engineering), la Ingeniería integrada concurrente, que consiste en la reunión de todos los involucrados en el proyecto, juntándolos ya establecida una agenda y con objetivos claros, estos, expondrán sus ideas, dudas, y se resolverán problemas e interferencias entre las especialidades, con esto se aumentará la productividad del proyecto durante el proceso de diseño y construcción, asimismo se mejora los flujos de comunicación, teniendo a todos trabajando por un mismo objetivo, optimizando tiempo y recursos.



Figura 4.7. Sesión ICE (Integrated Construction Engineering)

Fuente: Costos Educa, 2018

El Coordinador BIM, o también llamado BIM Manager, es el responsable de agendar las sesiones de trabajo ICE, y de convocar a los participantes, de realizar el seguimiento de lo pactado a través de actas, de contactar a los participantes, de generar las estadísticas de los resultados obtenidos y de gestionar el control de avance de la gestión.

Se debe contar con un espacio de trabajo para las reuniones ICE, este espacio debe contar con al área suficiente, y mobiliario adecuado para el desenvolvimiento correcto de la reunión, tendrá el equipamiento tecnológico necesario para visualizar y analizar el modelo en 3D, e interoperar con todas las especialidades al mismo tiempo.

Procedimientos de reuniones de coordinación

Tabla 4.1. Reuniones de coordinación

TIPO DE REUNIÓN	ETAPA	FRECUENCIA	PARTICIPANTES ESENCIALES
Reunión de inicio BIM	Anteproyecto	Al inicio	Todos los involucrados
Presentación del Plan de Ejecución BIM	Proyecto	Al inicio	Cliente
Coordinación de criterios de diseño	Anteproyecto/ Proyecto	Semanal	Todos los involucrados
Coordinación de revisión de modelos 3D	Anteproyecto/ Proyecto	Semanal	Todos los involucrados
Capacitación en procedimientos BIM	Proyecto	Quincenal	Especialistas
Reunión de planificación de avances y entregas	Todas	Semanal	Especialistas

Fuente: Modificado de (Costos Educa, 2018)

- **Reunión de inicio BIM:**

En estas sesiones se capacitará sobre BIM al personal involucrado, las capacitaciones son factores clave para la implementación efectiva de la tecnología BIM, ya que los involucrados se encontrarán alineados y convencidos de sus ventajas. Esta iniciativa deberá ser promovida por el jefe de proyecto y sus principales colaboradores, esto permitirá que la iniciativa no se realice de manera aislada o que carezca de apoyo, sino por el contrario trascienda a todas las áreas en busca de la mejora continua. Así mismo se involucrará a los ingenieros de obra, contratistas, subcontratista y proveedores y al cliente, para reforzar sus conocimientos.

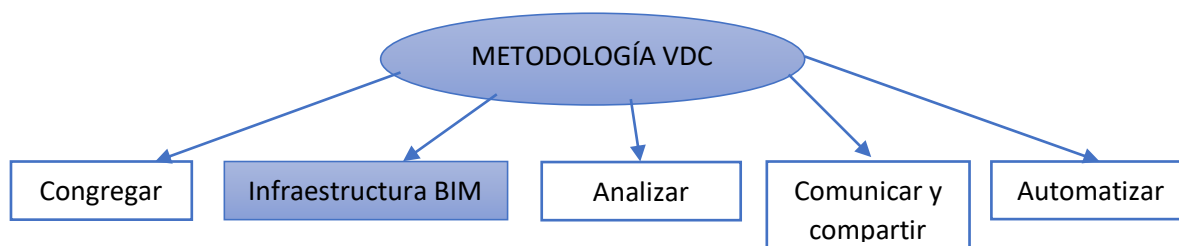
Se capacitará sobre la Dinámica BIM, el proceso de coordinación y el software a emplear. Es necesario el conocimiento avanzado de las herramientas por parte de los coordinadores BIM, de manera que éstos puedan manipular el modelo, generar vistas, realizar comentarios, etc.

- **Presentación del Plan de ejecución BIM**

En esta reunión de arranque de proyecto, se expondrán los aspectos más trascendentales, los requerimientos y expectativas del proyecto a diseñar y ejecutar, así como también se

expondrán los alcances, tiempo y costos. Es la primera reunión general del proyecto y estará liderado por el coordinador BIM y se hará entrega del plan de ejecución BIM.

Las demás reuniones, se llevarán a cabo de acuerdo con el avance de la propuesta, por tanto, se verán más adelante.



4.1.2.2. Infraestructura tecnológica – BIM

a) Elección del software

Como se detalló anteriormente, se cuenta con softwares de modelamiento y software de gestión, en el siguiente cuadro, se presenta los usos de la tecnología BIM, la disciplina a la que pertenecen y el software que podemos emplear en cada uso.

Tabla 4.2. Software/ Hardware BIM

USO BIM	DISCIPLINA	SOFTWARE
DISEÑO Y MODELADO	Arquitectura y especialidades	Autodesk REVIT
DISEÑO Y MODELADO	Estructuras	TEKLA/ REVIT
INTEGRACIÓN DE MODELOS Y REVISIÓN	Todas	Autodesk/ NAVISWORKS
DISEÑO – GENERACIÓN DE PLANOS	Arquitectura y especialidades	Autodesk REVIT
DISEÑO – GENERACIÓN DE PLANOS	Estructuras	TEKLA
SESIONES ICE	Todas	Autodesk NAVISWORKS/ AUTOCAD
NAVEGACIÓN DE MODELO AVANZADA	Arquitectura	NAVISGAME. Desarrollado por PROISAC y de uso exclusivo
GENERACIÓN Y REVISIÓN DE PLANOS	Todas	Microsoft Excel
COMPARTIR ARCHIVOS DE COORDINACIÓN	Todas	Dropbox

Fuente: Costos Educa, 2018

Se propone trabajar con el programa REVIT y TEKLA para el modelamiento y con el programa NAVISWORKS para la parte de la gestión, además son accesibles de obtener.

b) Modelado BIM

Diseño conceptual

El proceso BIM se inicia en la fase conceptual, donde se modelan las propuestas sobre la concepción que se tiene sobre la infraestructura futura, en base a sus necesidades y estudios, se observan espacios, áreas, formas y entorno.

Coordinación de criterios de diseño

En este punto se realiza la sesión para coordinar los criterios de diseño y consideraciones técnicas, que son puntos de partida para cada especialidad, se podrán modificar estos criterios de acuerdo con la toma de decisiones de las partes, teniendo en cuenta la optimización del modelo.

Estructuración

- Teniendo como base el bosquejo del modelo 3D, coordinado en el diseño conceptual, en esta etapa, se definen de forma más precisa las dimensiones de la edificación, se especifican materiales, en sí, se define la arquitectura del proyecto conforme a las normas establecidas.
- El modelo de estructuras es predimensionado con base al modelo de arquitectura, por el proyectista estructural, Revit permite guardar archivos con formato IFC, para poder conectar el modelo con un software de cálculo, como el Sap o Etabs para validar el predimensionamiento.
- La información generada se agrega al modelo, si se hace alguna modificación, este análisis se rehace en forma automatizada.

- Tanto estructuras y arquitectura deben estar totalmente integrados y compatibilizados, trabajando con un nivel de detalle LOD 400, en esta etapa podemos realizar la revisión de interferencias interdisciplinarias.

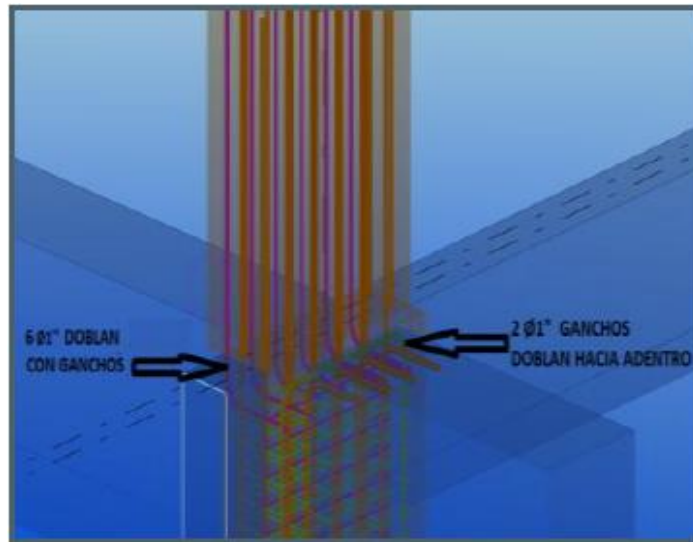


Figura 4.8. Revit Estructura 2018

- Para las instalaciones eléctricas, sanitarias y mecánicas, se propone emplear Revit, esta especialidad debe estar compatibilizada con la arquitectura y estructura del modelo. En su integración, también podemos detectar interferencias y corregirlas.

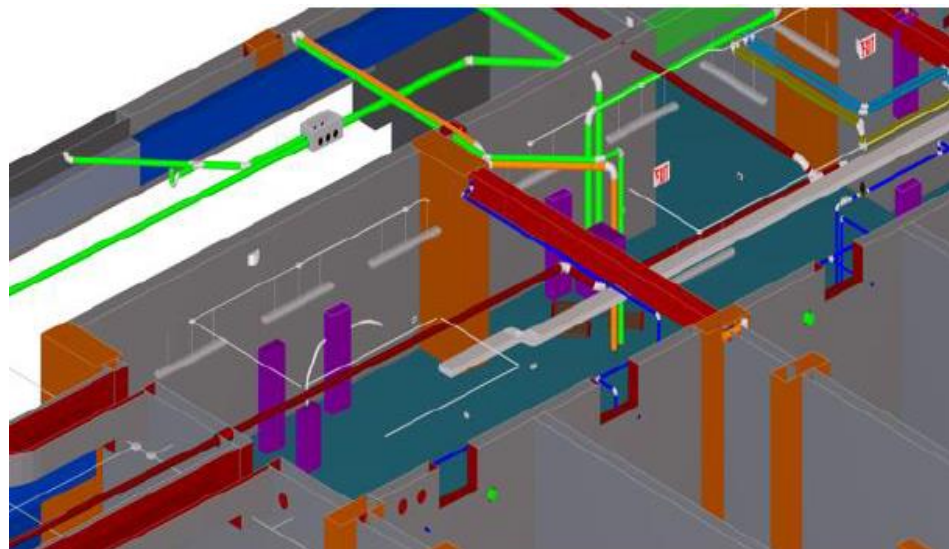


Figura 4.9. Revit MEP 2018

- Revit nos permite modelar e integrar las especialidades, de arquitectura, estructuras y MEP en un único modelo y generar planos directamente de él.

Con BIM, podemos realizar la constructabilidad del diseño, visualizamos en detalle cada elemento colocado al modelo, y los elementos que llegan o pasan por él.

Las ventajas de este proceso es que se pueden desarrollar análisis automatizados, integrados y consistentes en distintos escenarios evaluando técnica y económicamente el mejor resultado. Por ejemplo:

- ¿El nuevo diseño cumple con los requerimientos estructurales, de especialidades MEP?
- ¿Cumple con la normatividad, confort, y expectativas del cliente, etc.?
- ¿El nuevo diseño es más rentable que el anterior?

La interoperabilidad entre los softwares usados es importante y puede afectar en gran medida el trabajo adicional necesario para el análisis, es por ello que se recomienda trabajar con formatos IFC.

Simulación 4D

- Con Navisworks se podrá realizar la simulación 4D y animaciones constructivas, este programa es compatible con REVIT, pudiendo exportar el modelo desde Revit a Navisworks, el modelo tridimensional es evaluado, analizado y/o simulado en función de una nueva dimensión: el tiempo, el cual determina tamaño, posición y desplazamiento.
- Se puede vincular las partidas, elementos y propiedades gracias a los parámetros creados en Revit.

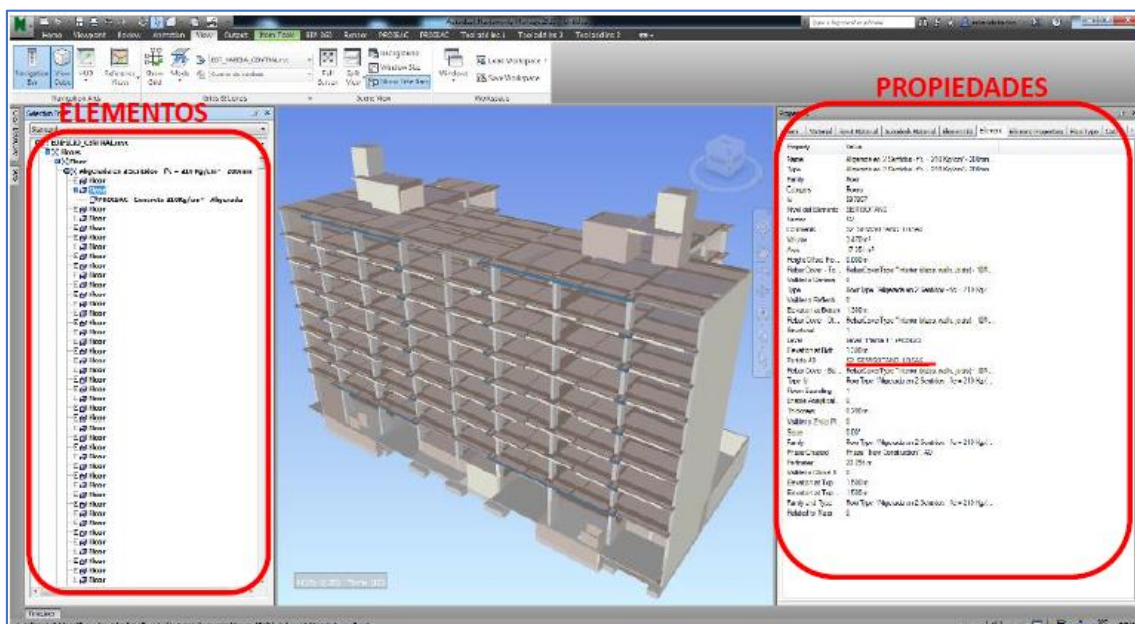


Figura 4.10. Software Navisworks 2018
Fuente: Costos Educa, 2018

- Aquí se visualizarán partidas, fechas, vínculos y propiedades necesarias para la simulación 4D y administra los vínculos a bases de datos de CSV, Excel, Ms Project y Primavera, siendo de gran ayuda para controlar la programación de la obra posteriormente.

- Se configura la forma de visualización de la simulación 4D, por ejemplo, organizando colores, apariencias y tipos de tareas por sectores.
- Para la simulación, a cada partida se le debe asignar elementos, los cuales se agruparán en conjuntos o sectores de acuerdo con propiedades similares, estos conjuntos se diferencian por colores e indicamos las fechas de inicio y fin, la duración de acuerdo con el planeamiento que seguirá en la etapa de construcción del proyecto, y los textos a mostrar en la animación. Navisworks permite vincularse con MS Project, pudiendo actualizar el Diagrama de Gantt de acuerdo con las mejores que se realicen.

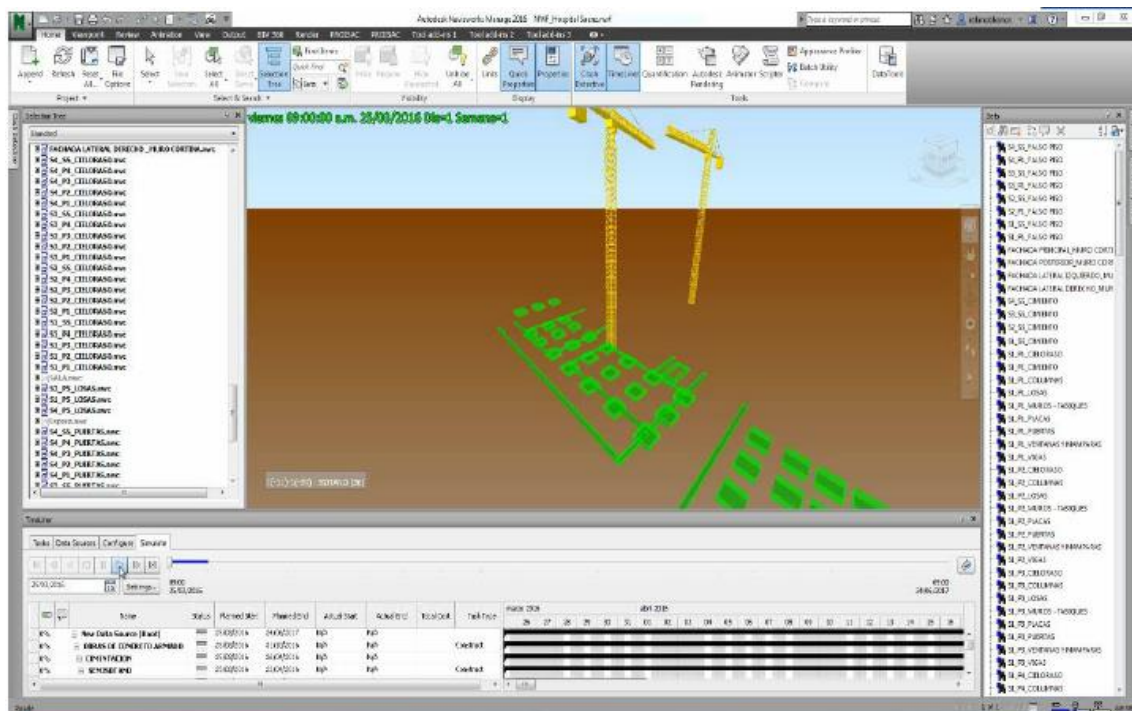
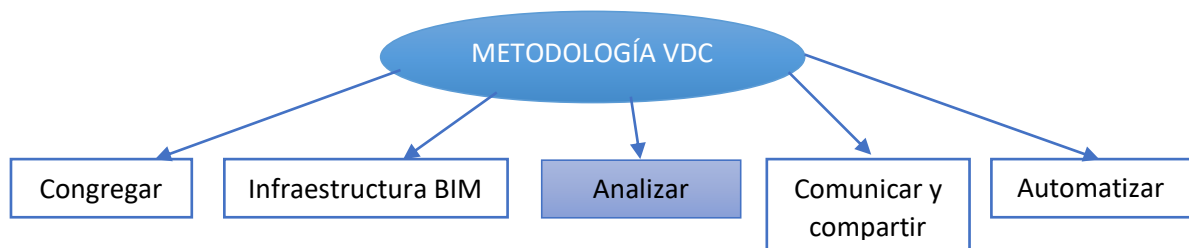


Figura 4.11. Navisworks - Inicio de simulación
Fuente: Costos Educa, 2018

Se recomienda tener un nivel de detalle en LOD 400, para una visualización comprensible, puesto que cada elemento está bien definido a detalle en su posición, pertenencia a un sistema constructivo específico, en uso y montaje en términos de cantidades, dimensiones, forma y orientación.



4.1.2.3. Análisis

a) Detección de interferencias

Se propone utilizar el software Navisworks para realizar la simulación en 4D ya integradas las especialidades en un único modelo, realizar el recorrido virtual y detectar las interferencias, las cuales serán dadas a los especialistas y a los modeladores BIM, para que procedan a modificar el modelo, se entregarán los planos y modelos actualizados al coordinador BIM.

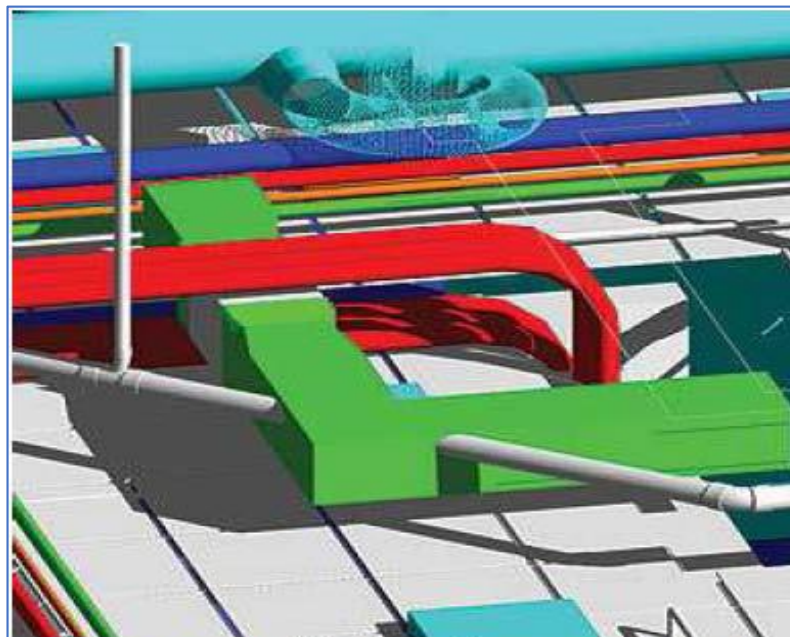


Figura 4.14 Detección de interferencias

Fuente: Costos Educa, 2018

El chequeo de interferencias con modelos BIM es uno de los principales usos que se le da a esta herramienta, en particular en proyectos que involucran una infraestructura compleja como plantas industriales, edificios inteligentes, hospitales, etc. Este análisis reduce los requerimientos de información, las órdenes de cambio y conflictos entre actores del proyecto, lo que aumenta la productividad y reduce costos de construcción, interferencias detectadas en terreno implica tiempos muertos dedicados a identificar la interferencia, pensar en la solución, mandarla a las especialidades y al cliente, que devuelvan la respuesta y fabriquen la nueva pieza, proceso que puede llevar a tomar tiempo, conllevando a ampliaciones de plazo.

b) Actualización del modelo:

Para la actualización del modelo es necesario que todas las partes, tengan la iniciativa y el interés de mantenerse informados sobre cambios que podrían afectarlo. Se sugiere guardar el modelo en un servidor común donde todas las partes compartan el modelo (propuesto más adelante), se deben realizar tantas actualizaciones como sean necesarias, para mantener compatibilizado y coordinado el trabajo de los actores.

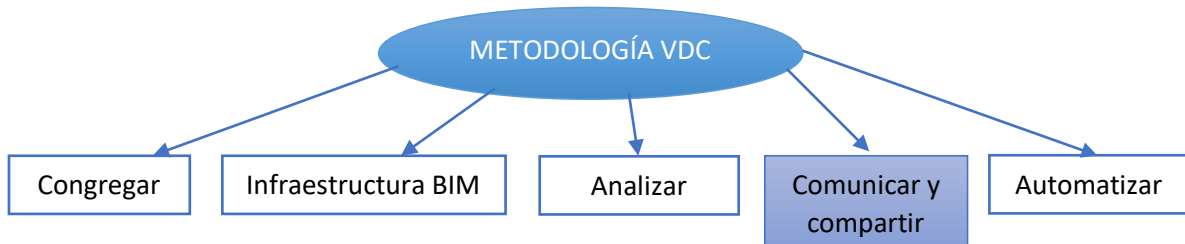
c) Coordinación de revisión del modelo

Todos los actores del proyecto revisarán el modelo integrado y compatibilizado, en una sesión de revisión del modelo. Generándose un sistema de comunicación ordenado en el cual toda interferencia debe documentarse, para quedar en el tiempo y poder medirla, cuantificarla y ver cuánto de costo se ahorra al detectarlo en esta etapa y no en la etapa de construcción, que llevaría mucho tiempo en resolverla. Algunas de estas interferencias se pueden actualizar en la misma sesión optimizando el tiempo.

Conforme avance el modelado se realizarán diversas reuniones para revisión del modelo en 3D, así podremos detectar las interferencias y solucionarlas, para tener un modelo totalmente compatibilizado, listo para entrega. Los participantes de esta reunión son todos los involucrados.



Figura 4.15. Flujo de trabajo para validación del modelo
Modificado de: Flujo de trabajo (Costos Educa, 2018)



4.1.2.4. Coordinar y compartir

a) Planificar la gestión de las comunicaciones

Compartir la información del modelo

El flujo de la comunicación va de la mano con las sesiones ICE, más específicamente, con la reunión de planificación, este flujo de comunicación debe ser óptimo, colaborativo, entendible y apto para todos, por ello se propone utilizar servidor Dropbox, para sincronizar los archivos y se encuentren accesibles desde cualquier ordenador en el cual puedan intervenir cada uno de los agentes del proceso, otorgando la interacción entre ellos.

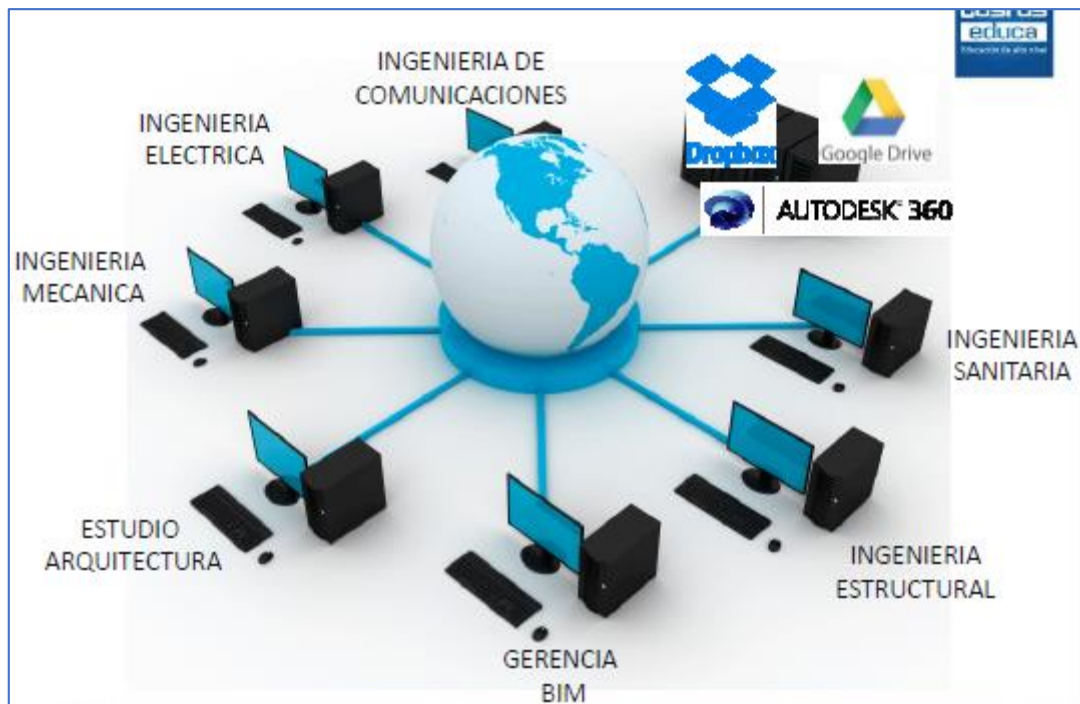


Figura 4.16. Espacios de trabajo y procedimientos de comunicación.

Fuente: Costos Educa, 2018

Los archivos a compartir se recomiendan que presenten un formato de estándares IFC (Industry Foundation Classes), como ya se indicó anteriormente.

De cada una de las sesiones ICE se recoge información, tanto para el modelo tridimensional como para la gestión del diseño, después de analizar y detectar las interferencias, cada especialidad tiene la oportunidad de trabajar en este modelo, terminado su labor, procederá a guardarlo en el servidor propuesto, totalmente actualizado para el conocimiento de las otras especialidades, asimismo podrá alcanzar consultas, detallando estas en el mismo modelo.

No solamente tendrá acceso los especialistas, también es importante que se involucren en este innovador flujo de información los ingenieros de obra, contratistas, proveedores, con ello proporcionamos un flujo de trabajo transparente y abierto que permite la participación de los miembros del proyecto, creando un lenguaje común y no aislado.

Tabla 4.3. Intercambio de información hacia el cliente para su aprobación

INTERCAMBIO DE INFORMACIÓN	REMITENTE	RECEPTOR	MOMENTO O FRECUENCIA	ARCHIVO DE MODELO	SOFTWARE DE MODELADO	FORMATO NATIVO	FORMATO DE INTERCAMBIO
Modelo 3D de Arquitectura	Arquitecto	Cliente	Según cronograma	Nombre Según Estándar	Autodesk Revit	RVT	NWC RVT
Modelo 3D de Estructuras	Ingeniero Estructural	Cliente	Según cronograma	Nombre Según Estándar	Autodesk Revit	RVT	NWC RVT
Modelo 3D de Instalaciones Mecánicas	Ingeniero Mecánico	Cliente	Según cronograma	Nombre Según Estándar	Autodesk Revit	RVT	NWC RVT
Modelo 3D de Instalaciones Sanitarias	Ingeniero Sanitario	Cliente	Según cronograma	Nombre Según Estándar	Autodesk Revit	RVT	NWC RVT
Modelo 3D de Instalaciones Eléctricas	Ingeniero Electricista	Cliente	Según cronograma	Nombre Según Estándar	Autodesk Revit	RVT	NWC RVT
Modelo 3D de Comunicaciones	Ingeniero de Comunicaciones	Cliente	Según cronograma	Nombre Según Estándar	Autodesk Revit	RVT	NWC RVT
Modelo 3D del Proyecto Integrado	Modelador BIM	Cliente	Semanal	Nombre Según Estándar	Autodesk Navisworks	NWF	NWD NWF
Reporte de Observaciones	Modelador BIM	Cliente	Semanal	Reporte de Observaciones	Autodesk Revit	RVT	XLS
Reporte de Observaciones	Modelador BIM	Cliente	Semanal	Reporte de Observaciones	Navisworks / Excel	NWF	HTML / XLS
Reporte de Interferencias	Modelador BIM	Cliente	Semanal	Reporte de Interferencias	Navisworks / Excel	NWF	HTML / XLS

Fuente: Costos Educa, 2018

b) Mapeo de procesos internos

Durante las sesiones ICE, los diseñadores, contratistas, modeladores, cliente y todo invitado, puede realizar un mapeo de procesos internos, por ejemplo, realizar y exponer los flujos de comunicación y trabajo, cómo respondemos y cuántos días toma en responder consultas e ir optimizando el tiempo a emplear.



Figura 4.17. Mapeo de procesos de los involucrados.

Fuente: Costos Educa, 2018

En cuestión a ello, con la asistencia y participación de los involucrados a las congregaciones ICE, se reduce el tiempo de respuesta al momento de hacer consultas, generar nuevos planos, nuevos reportes. Con esto se logrará que cada actor, se comprometa, se motive, se interese a seguir participando activamente en la implementación de la metodología VDC.

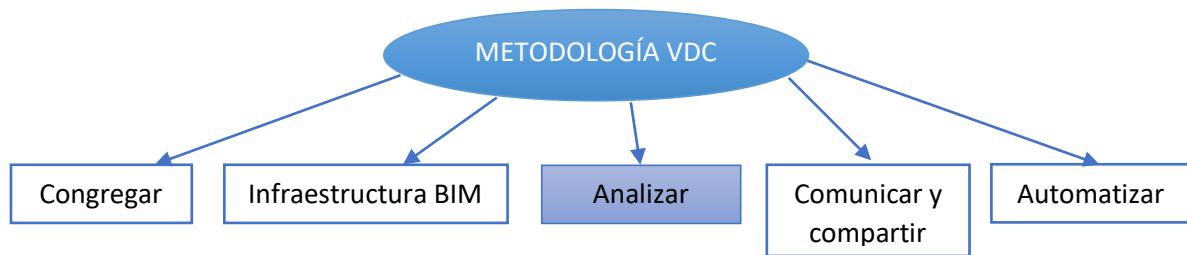


Figura 4.18. Interés en los participantes.

Fuente: Costos Educa, 2018

c) Capacitaciones

Se resalta que las capacitaciones entran a tallar desde la primera reunión, y se verá en cada una de las sesiones, debido a que cada involucrado siempre tendrá consultas sobre los procesos que se llevan a cabo, entonces cada sesión es una constante capacitación en el que entra y sale información, se aprende y se enseña, la capacitación será llevada a cabo por un experto en BIM.



4.1.2.5. Análisis – métricas

Regresamos a esta parte, para analizar las métricas, con las métricas de control, podemos comunicar eficientemente cómo va el proyecto, se obtendrá el reporte de cuántas interferencias se resuelven semanalmente o mensualmente, y se podrán controlar los metrados, y costos.

a) Metrados – presupuestos

Se obtienen los metrados directamente del modelo, en el siguiente diagrama se propone un flujo de trabajo.

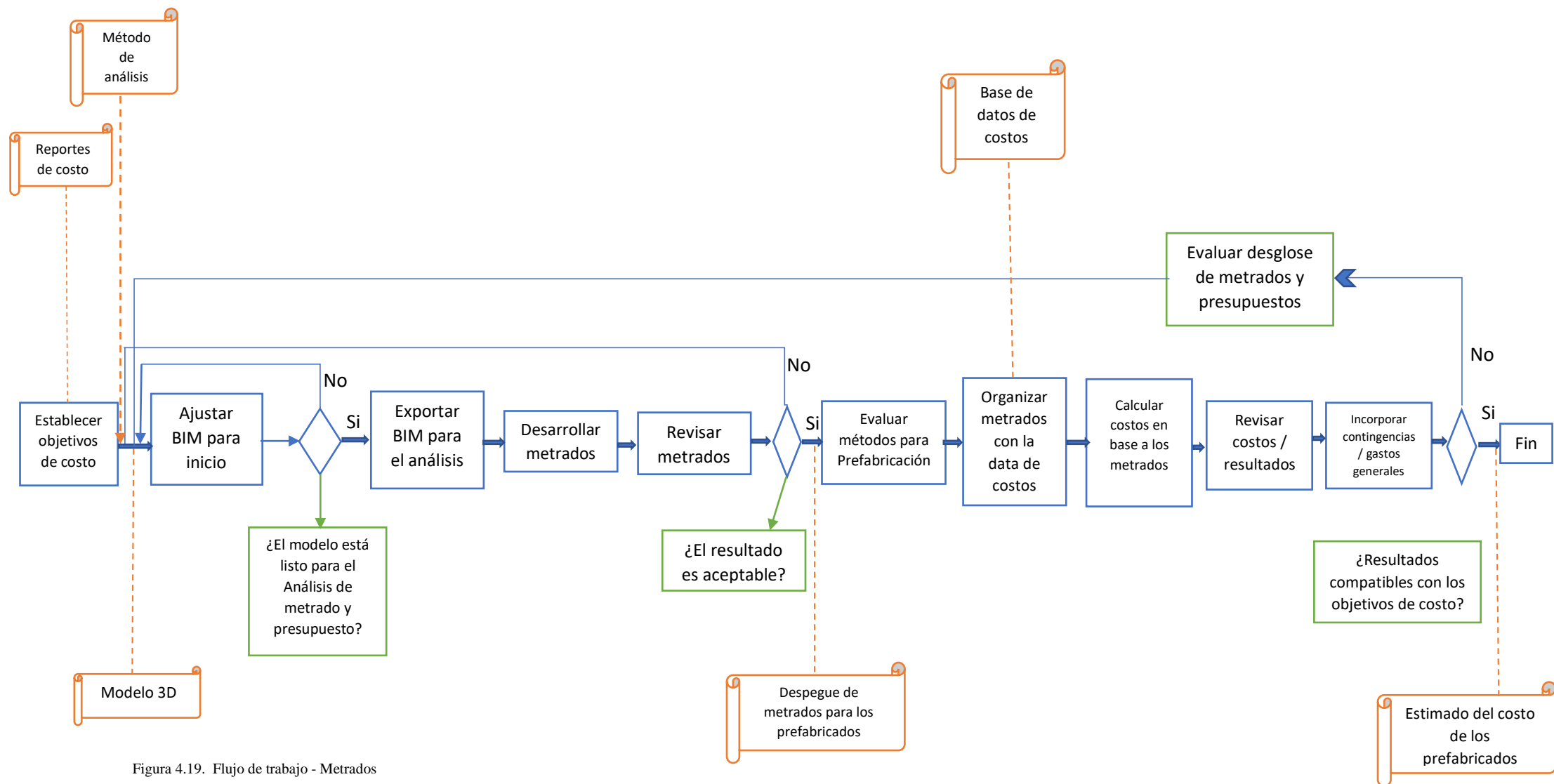


Figura 4.19. Flujo de trabajo - Metrados

Modificado de (Costos Educa, 2018)

Iniciamos estableciendo los objetivos de costo, entra a tallar el contratista, teniendo en cuenta los requerimientos del cliente, y los criterios de diseño que se tomaron en cuenta para la construcción del modelo 3D del proyecto o de la edificación, estos objetivos de costo se plasman en reportes, para poder ser analizados.

Si el modelo está listo para el análisis de metrado y presupuesto se continúa con la exportación y si no lo está se regresa a ajustar los criterios BIM en el modelo. Este procedimiento se puede llevar a cabo en una sesión ICE, en el cual todos los involucrados en especial el cliente analice, revise y en conjunto se tomen decisiones sobre estos reportes, devolviendo los resultados a los modeladores BIM, para modificaciones.

Una vez realizado los ajustes, se desarrollan los metrados y se revisan de acuerdo con el gráfico 4.8., si el resultado de esa revisión no es aceptable, se retorna al punto de ajustar el modelo BIM, y si se concluye que se acepta el metrado del proyecto, se continua con el proceso. Organizamos y calculamos los costos en base a estos metrados, se revisa los costos, y se comparan con los objetivos establecidos al iniciar el proceso, si no es conforme regresamos a los ajustes hasta obtener los costos acordes con los objetivos, obteniendo el presupuesto compatibilizado, y los metrados con gran precisión, exportando a Excel para su compartimiento.

Se comunica y se informa a todas las partes mediante una sesión ICE, y se estima el costo para la prefabricación de los elementos del proyecto.

Verificación de metrados

Para obtener una correcta revisión de los metrados, obtenidos directamente del modelo, con el software propuesto, se puede crear parámetros que nos permite compartir la información guardada en él con otras categorías, distintos modelos o en otro proyecto, es una herramienta de gran ayuda, al momento de vincular un archivo de Revit con otro programa, si tiene los mismos parámetros compartidos, podré filtrar y tener toda la información dentro del mismo parámetro.

Con ello aseguramos que al momento de exportar los metrados y vincularlos, no se pierdan datos en este proceso.

Se procede a crear un parámetro compartido, copiamos la identificación de los elementos a un mismo parámetro, posteriormente añadimos el parámetro compartido que debe contener toda la información de los elementos del proyecto, a la tabla de metrados, para seguir con una auditoría, si se encuentra conforme las tablas generadas y cada elemento se encuentra metrado, se exporta a Excel para elaboración del presupuesto, si sucede que no están las tablas necesarias, se actualiza el modelo, regresando a los modeladores BIM, a modificar y poder actualizar las tablas de metrado para su aprobación.

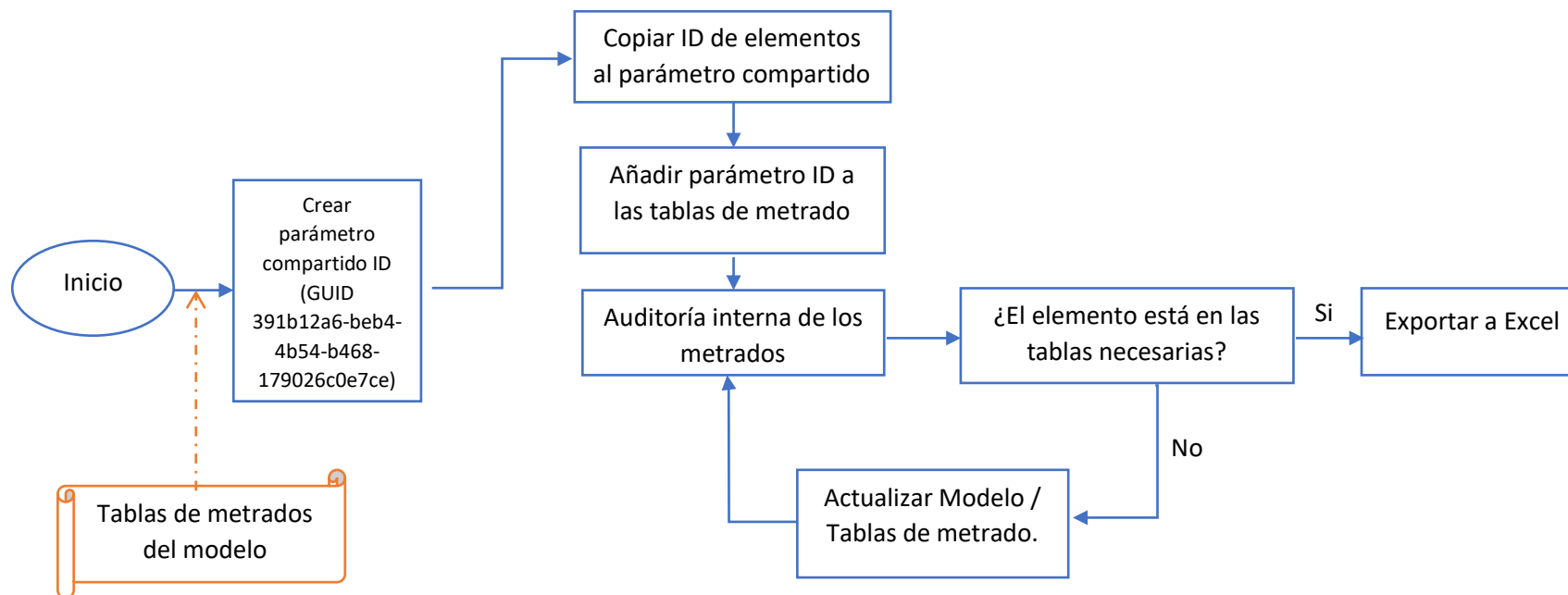


Figura 4.20. Flujo de verificación de metrados.

Modificado de (Costos Educa, 2018)

b) Reunión de entrega

En esta reunión se lleva a cabo la presentación por parte del coordinador BIM del modelo 3D integrado y totalmente compatibilizado con todas las especialidades, presenta las estadísticas, las lecciones aprendidas y oportunidades de mejora.

Tabla 4.4. Entregables

ITEM	ETAPA	FORMATO	NOTAS
PLANOS POR ESPECIALIDAD	DISEÑO	DWG	LOS PLANOS SON GENERADOS EN AUTODESK REVIT Y EXPORTADOS
PLANOS POR ESPECIALIDAD	DISEÑO	PDF	LOS PLANOS SON GENERADOS EN AUTODESK REVIT Y EXPORTADOS
MODELO BIM EN REVIT POR BLOQUE Y ESPECIALIDAD	DISEÑO	RVT	SE GENERARÁ UN MODELO BIM POR CADA ESPECIALIDAD PARA CADA BLOQUE DE TRABAJO
BASE DE DATOS BIM EN NAVISWORKS	DISEÑO	NWC	BASE DE DATOS INDIVIDUAL EXPORTADA DE CADA ARCHIVO RVT
REFERENCIAS DE DATOS BIM EN NAVISWORKS	DISEÑO	NWF	ESTE ARCHIVO VINCULA LOS ARCHIVOS NWC GENERADOS EN EL ITEM ANTERIOR PARA VISUALIZACION Y ANALISIS
CONSOLIDADO DE DATOS BIM EN NAVISWORKS	FIN DE DISEÑO	NWD	CONSOLIDADO ESTATICO DE ARCHIVOS. CONTIENE LOS VINCULOS NWC PERO NO SON ACTUALIZABLES. DE LA MISMA MANERA CONTIENE NOTAS, IMÁGENES GUARDADAS Y REPORTES DE COLISION
LOG_BIM, POR TIPO DE INTERVENCION	DISEÑO	XLS	ARCHIVO DE CONTROL DE AVANCE DE MODELAMIENTO BIM POR ESPECIALIDAD DE ACUERDO AL TIPO DE INTERVENCION
REPORTE DE OBSERVACIONES	DISEÑO	XLS	ARCHIVO DE SEQUEIMIENTO DE OBSERVACIONES, MEJORAS E INTERFERENCIAS
REPORTE DE METRADOSPOR BLOQUE Y ESPECIALIDAD	DISEÑO	XLS	ESTOS REPORTES SON GENERADOS EN AUTODESK REVIT Y EXPORTADOS A EXCEL PARA SU MANEJO
PLANEAMIENTO CONSTRUCTIVO 4D	FIN DE DISEÑO	WMV O MP4	RESOLUCION MINIMA 1024x768

Fuente: Costos Educa, 2018

El diseño del modelo, y toda la información que se obtuvo de él es entregando al cliente, para iniciar la etapa de construcción, seguros de ver una mejora en la productividad de la siguiente etapa.

Así se pueden realizar tantas reuniones sean necesarias, a lo largo de todo el ciclo del proyecto, teniendo en cuenta la optimización del tiempo.

4.1.2.6. Automatización

La construcción necesita automatización, se propone una automatización que abarque los aspectos de compatibilización, constructabilidad y documentación final en la etapa de diseño.

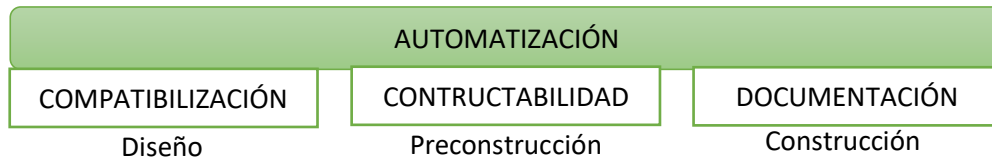


Figura 4.21. Automatización

Para iniciar la construcción se necesita que el diseño sea compatible, ello lo logramos empleando softwares adecuados, para hacer los procesos de construcción virtual más rápido y tener el producto final a tiempo.

La constructabilidad va de la mano con la preconstrucción, consiste en modelar con una ingeniería de detalle que nos permita simular lo que se va a construir, poder obtener una secuencia constructiva y generar un análisis de prefabricación.

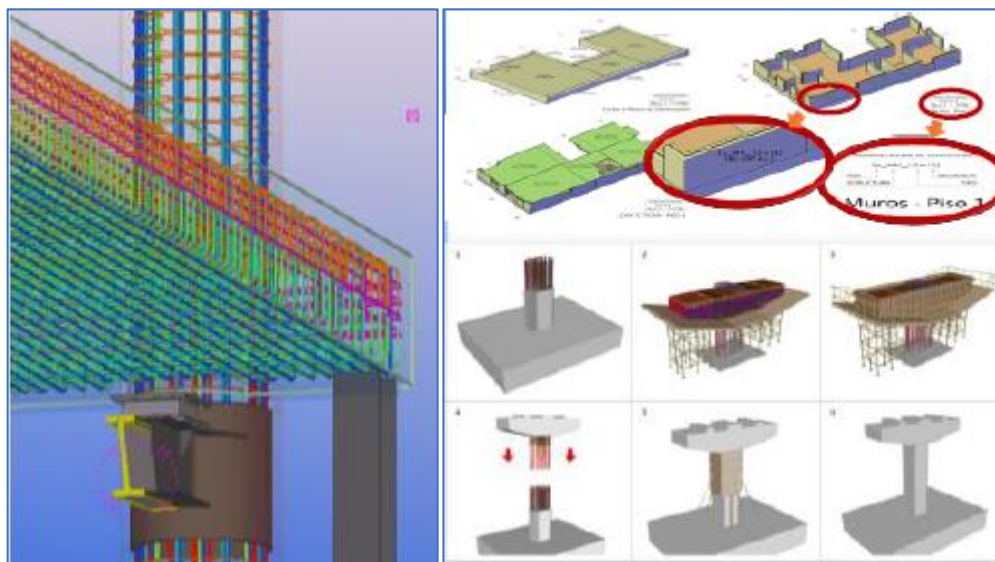


Figura 4.22. Preconstrucción en el modelo

Fuente: Costos Educa, 2018

A la validación constructiva le sigue la generación de especificaciones técnicas, es decir una documentación automatizada de fabricación y montaje de los elementos del proyecto.

Se propone generar las especificaciones técnicas para la fabricación, es por esto por lo que la participación de los proveedores es crucial en esta etapa del proyecto, si generamos elementos directos del modelo, podremos reducir el desperdicio y aumentar la productividad de la construcción real.



Figura 4.23. Fabricación desde el modelo.

Fuente: Costos Educa, 2018

Distintos sectores de la industria se interesan por probar virtualmente productos antes de fabricarlos realmente. El resultado final mejora siempre gracias a estas pruebas, además de que suelen ahorrar mucho tiempo y dinero a los empresarios.

Este cambio que inicia con una obligación inicial del que contrata a los subcontratistas/ proveedores permitirá una industrialización basada en prototipos digitales detallados por especialidad, estos prototipos serán luego la base del desarrollo de los componentes industriales que estarán en el mercado y que permitirán elevar la productividad y calidad del sector.

Las fábricas o talleres que utilicen estos prototipos acelerarán su camino a la automatización y serán los que propongan también la inclusión de productos prefabricados, que podrán ser utilizados desde etapas de diseño y generar un real aumento de la productividad del sector.

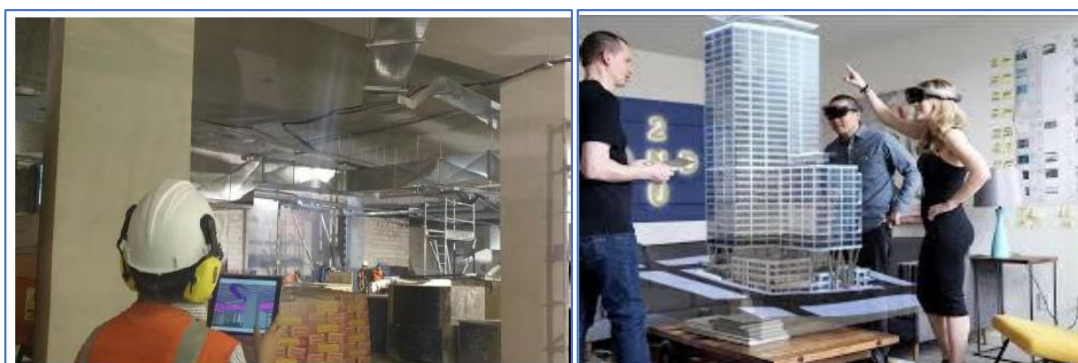


Figura 4.24. BIM en constante evolución.

Se propone una constantemente capacitación e innovación en esta metodología, BIM es tecnología en constante evolución, ahora ya cuenta con herramientas tipo hologramas que son manejados mediante la lectura de códigos QR desde nuestro celular, visualizando e interactuando con el modelo directamente.

4.3. Ecosistema BIM en el Perú

Como último punto se propone la implementación de un ecosistema BIM para complementar la metodología propuesta.

¿Por qué ecosistema BIM?

Un ecosistema es un conjunto de especies de un área determinada que interactúan entre ellas y con su ambiente. Eso es justamente lo que se busca implementar.

Los sistemas que se presenta en el gráfico 4.10. el gobierno, las empresas, Universidades, Inversionistas, Clientes deben trabajar en conjunto e interactuar entre ellos mediante procesos organizados y vinculados, para que el ecosistema funcione y sea productivo.

Se busca desarrollar la productividad de la industria de la construcción por medio de la integración y colaboración de estas partes, hablando un mismo lenguaje.



Figura 4.25. Ecosistema BIM en el Perú.

Fuente: Costos Educa, 2018

Es de suma importancia lograr estandarizar este sistema, para poder ejecutar un Plan BIM a nivel de Gobierno Nacional, y no solamente en la empresa privada. Este ecosistema nos dirige a la invocación del sector construcción, logrando desarrollar productos y servicios con gran competitividad.

El aprendizaje de estas, relativamente “nuevas” metodologías BIM y VDC, desde la formación universitaria, sería una buena forma de explotar e indagar a profundidad en el campo, los estudiantes realizarían trabajos de investigación y debido a la inmadurez con la que iniciarán, se abarcaría desde conceptos básicos, logrando un aprendizaje esquematizado y escalado, para su mejor entendimiento.

Si se juntaran la experiencia de las empresas constructoras, inmobiliarias y consultoras en este campo, con los inversionistas, podrían presentar proyectos pilotos al gobierno y a los clientes mostrando una mejora en la producción y en los procesos de comercialización de sus recursos, se lograría legislar estas metodologías, conllevando a la industrialización del sector de la construcción y a un aumento en la economía.



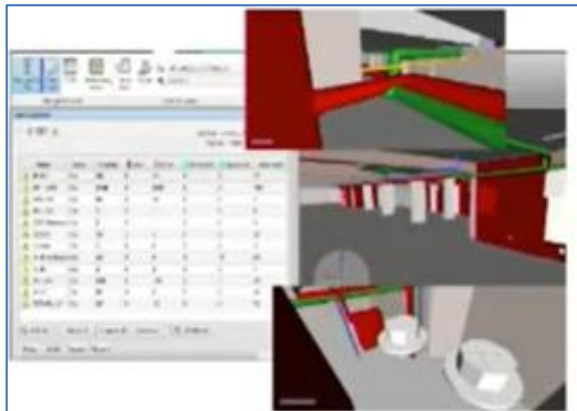
Modelo BIM



Mapeo de procesos



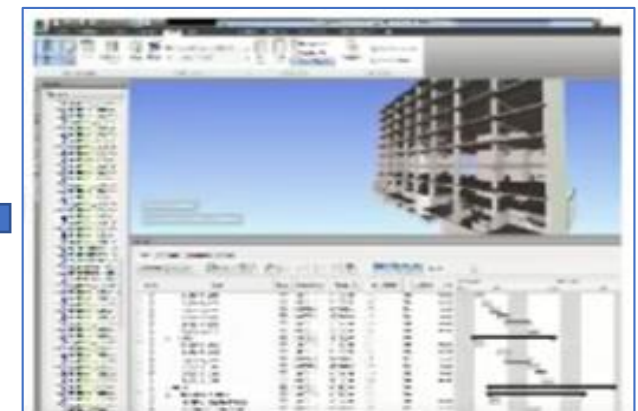
Sesiones ICE + Métricas



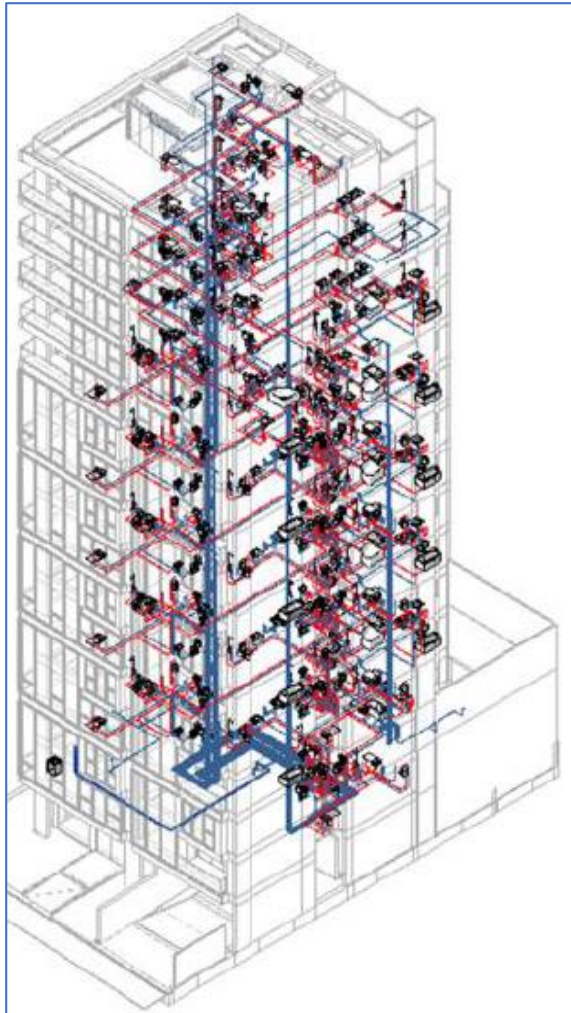
Detección de interferencias



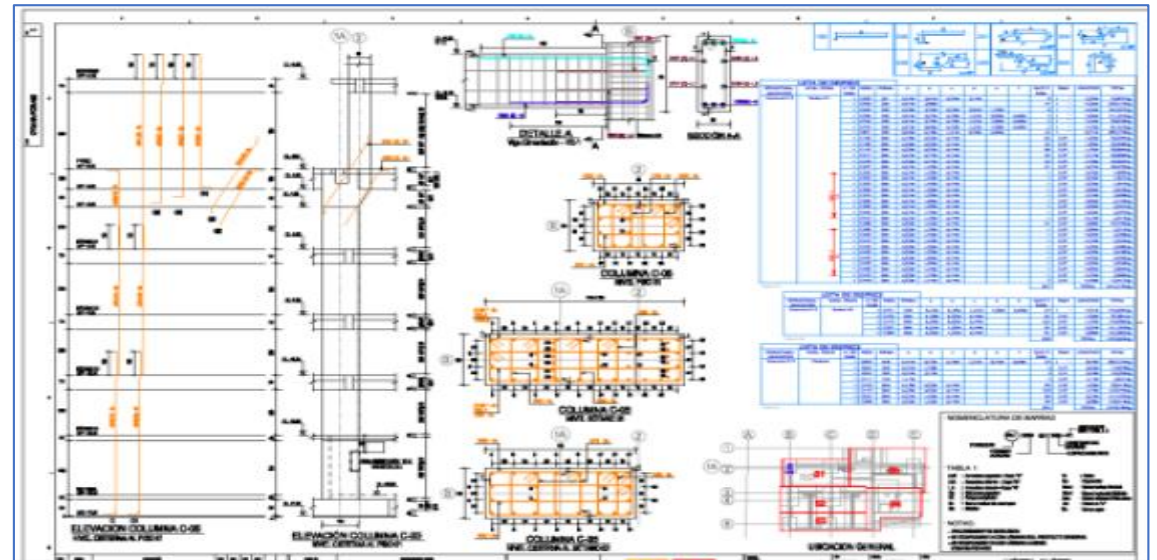
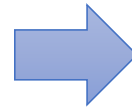
Metrados



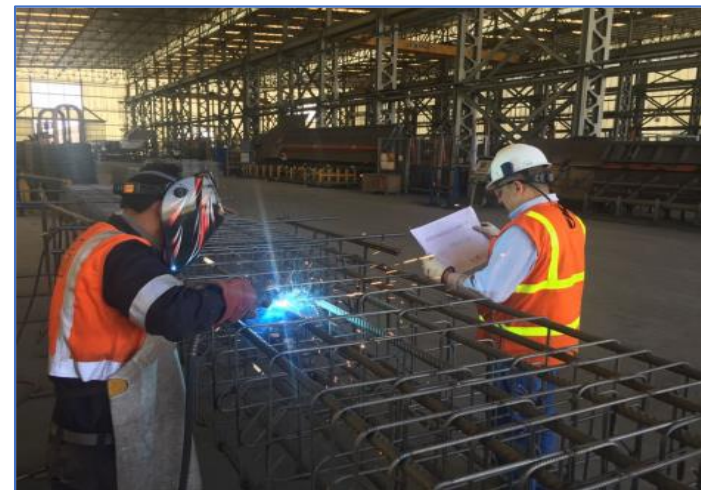
Simulación 4D



Modelo Compatibilizado



Planos con ingeniería de detalle



4.2. DISCUSIÓN

La implementación de las tecnologías BIM a través de la vía de la metodología VDC, según los resultados obtenidos, requiere en esencia un cambio social, un espíritu colaborativo, integrador, de compromiso, por parte de todos los involucrados del sector construcción, hacia la aceptación de estas tecnologías.

Muchas de las empresas de este rubro, ya han tenido contacto con estas tecnologías, pero no han profundizado en ellas, para lograr entender estas metodologías, primero hay que conocerlas, la falta de conocimiento y la poca inversión en investigación, ha llevado a levantar barreras en el proceso de su implementación, quedándose muchas de estas empresas solo en la parte superficial y con una deficiente estructura organizacional.

Se da veracidad a la hipótesis planteada, sí es factible proponer una metodología para implementar las tecnologías VDC/ BIM en la etapa de diseño de los proyectos de edificación, está claro, que estandarizar la metodología BIM, en esta etapa, mejora la producción en la ejecución de la fase de construcción, optimiza tiempo y recursos.

Permite la detección temprana de errores, logrando solucionarlos en esta fase de diseño, con menos dificultades, en comparación con el costo y el tiempo que toma comúnmente resolver en la etapa de construcción, que, por lo general, conlleva a resolver estos errores deficientemente debido a la prisa con que se solucionan, reflejándose en las deficiencias que presenta el producto y en los retrasos en los plazos de entrega.

La metodología VDC, trabaja con Ingeniería Concurrente integrada y usa las tecnologías BIM, para lograr un entorno de trabajo sostenido y coordinado, generando que el flujo de comunicación e información entre los participantes sea más eficiente, colaborativa, entendible e integrada.

La formación profesional es sin duda una parte fundamental en la implementación de estas tecnologías, le corresponde a la academia, la incorporación en sus currículos de estas tecnologías, para incrementar el conocimiento y tener ventaja competitiva ante los retos y solicitudes del mercado de la construcción.

En el Perú, no se han explotado aún estas metodologías, una de las causas es la poca aportación del gobierno, y su rechazo a nuevas legislaciones en el sector construcción, su centralismo y zona de confort están muy enraizados al ciclo de vida de un proyecto, sumado a la corrupción y a su desinterés por invertir en investigación e innovación de los recursos materiales y de capacitación y formación de los recursos humanos.

La propuesta de implementación de VDC/BIM planteada, aporta a alcanzar un nivel industrializado en el rubro de la construcción, automatiza los procesos de comunicación e información entre las partes integrantes de un proyecto, genera mejoras en los procesos constructivos y de operación y mantenimiento. Nos acerca a la utilización de tecnologías que nos ayudan en la compatibilización de las especialidades en la fase de modelado, para construir lo que realmente se diseñó.

CONCLUSIONES

- Fue posible proponer una metodología para implementar las tecnologías VDC/BIM en la etapa de diseño de los proyectos de edificación.
- Se presentó la realidad de la adopción de BIM en el Perú, siendo lo más relevante y preocupante, el empleo de esta metodología, en una gran mayoría de empresas y proyectos, solo para compatibilización del modelo, recalcando que estas empresas pertenecen al sector privado, notando una gran negación a la aceptación del uso de estas tecnologías por parte del gobierno nacional, por miedo al cambio y a la salida de su zona de confort.
- Se realizó una búsqueda exhaustiva en diferentes fuentes bibliográficas, sobre guías o formatos de implementación de estas metodologías, encontrando diversas propuestas, enmarcados en diferentes aspectos y etapas de un proyecto de edificación. Se encontraron diferentes ramas en las que se puede implementar BIM, pero, no se halló evidencia sobre protocolos ya estandarizados, enmarcados y aprobados por alguna normatividad o ley de entorno nacional. Por otro lado, en algunas de las propuestas encontradas ya juntan ambas tecnologías, para construir una metodología de trabajo de integración y colaboración.
- Se describieron los procesos de implementación encontrados, al realizar la revisión de la bibliografía, así como los actores que influyen, pertenecen y cumplen un rol importante en estos procesos, la inclusión de los subcontratistas y proveedores desde la etapa de diseño en un proyecto de construcción, guiados de un equipo especializado en BIM, es crucial, para la buena gestión de la etapa de diseño, integrando, vinculando y reuniendo a todos los involucrados de un proyecto, mediante sesiones de Ingeniería concurrente.
- Se identificó las herramientas tecnológicas que nos proporciona BIM, en este caso, se dio énfasis en los softwares que se emplean en el modelado, las propuestas fueron Revit y Navisworks, debido a la buena compatibilización y complementación de ambos programas, Revit permite modelar en todas las especialidades e integrarlas en un solo modelo y Navisworks permite gestionar la información que nos brinda el mismo modelo, logrando optimizar tiempo y recursos.
- Se logró integrar los procesos, las técnicas y herramientas descritas y definidas en el proceso de implementación, organizándose en base a la metodología VDC, y coordinando mediante sesiones ICE, los procesos a seguir, los criterios a concretizar y las herramientas a usar, para explotar a fondo las metodologías estudiadas.

RECOMENDACIONES

- La implementación efectiva de VDC/ BIM, requiere de cambios en los aspectos organizacionales de toda empresa o institución involucrada en el sector de la construcción, se debe tener un conocimiento completo de estas tecnologías y de lo q su implementación involucra además de contar con una planificación detallada de su ejecución.
- Incentivar a los involucrados a capacitarse constantemente, debido a que estas tecnologías están en constante evolución, así se reducirá la tasa de desconocimiento e incertidumbre de estas metodologías.
- Contratar a un equipo especializado en la materia, no es recomendable, por tratar, de mitigar costos creer que el cadista acostumbrado a modelar en CAD 2D, tendrá el conocimiento necesario para empezar un modelo especializado, sin antes haberse capacitado eficientemente.
- BIM debe ser implementado en las empresas del sector construcción sin importar el tamaño de ésta como una estrategia de mejora de la gestión en los procesos de diseño y construcción.
- Plasmar en los contratos de los subcontratista y proveedores, el inicio de sus labores desde la etapa de diseño, obligándolos a involucrase y participar activamente.
- Incluir cláusulas que permitan reflejar los nuevos procesos en documentos contractuales con los clientes.
- Como BIM y toda nueva tecnología requiere de un proceso de maduración se recomienda su difusión de los conceptos, beneficios y limitaciones a nivel de pre grado en las universidades.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alcántara, V. (2013). *METODOLOGÍA PARA MINIMIZAR LAS DEFICIENCIAS DE DISEÑO BASADA EN LA CONSTRUCCIÓN VIRTUAL USANDO TECNOLOGÍAS BIM*. Tesis de Pregrado, Universidad Nacional de Ingeniería, Lima, Lima.
- Almonacid, K., Navarro, J., & Rodas, I. (2015). *PROPUESTA DE METODOLOGÍA PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE LA TECNOLOGÍA BIM EN LA EMPRESA CONSTRUCTORA E INMOBILIARIA "IJ PROYECTA"*. Tesis doctoral, Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas, Lima, Lima.
- Baeza, J., & Salazar, G. (septiembre-diciembre de 2005). Integración de proyectos utilizando el modelo integrado de información para la construcción. *Ingeniería*, 9(3), 67-75.
- BIM, C. (2012). *COMITE BIM PERÚ*. Recuperado el 15 de Mayo de 2019, de <http://www.comitebimdelperu.com/2014/index.html>
- Center for Integrated Facility Engineering. (s.f.). *Center for Integrated Facility Engineering*. (S. ENGINEERING, Productor) Recuperado el 15 de mayo de 2018, de <https://cife.stanford.edu/events/cifeppi-vdc-certificate-program>
- Costos Educa. (2018). Curso Taller VDC/BIM Aplicado a la gestión de proyectos. *VDC/BIM Aplicado a la gestión de proyectos*. Lima.
- D'paola, E. (s.f.). *Nuevas tecnologías en la enseñanza de la Ingeniería Civil: BIM y Realidad virtual*. Tesis de Pregrado, Lima.
- Farfan, E., & Chavil, J. (2016). *ANÁLISIS Y EVALUACIÓN DE LA IMPLEMENTACIÓN DE LA METODOLOGÍA BIM EN EMPRESAS PERUANAS*. Tesis de Pregrado, Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas, LIMA, Lima.
- GRUPO S10. (Noviembre de 2017). Avances de la adopción del BIM en el Perú. *Publicación mensual COSTOS Construcción, Arquitectura e Ingeniería*, 284, 130.
- Guzmán, A. (2014). *APLICACIÓN DE LA FILOSOFÍA LEAN CONSTRUCTION EN LA PLANIFICACIÓN, PROGRAMACIÓN, EJECUCIÓN Y CONTROL DE PROYECTOS*. Tesis de Pregrado, Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima, Perú.
- Imasgal. (s.f.). *Nivel de desarrollo LOD en BIM*. Recuperado el 23 de abril de 2019, de <https://imasgal.com/nivel-desarrollo-bim-lod/>
- INSTITUTO CIENTIFICO DEL PACIFICO. (s.f.). *Modelado de Proyectos con Revit Architecture*. Recuperado el 8 de junio de 2018, de <http://campus.icip.edu.pe/mod/page/view.php?id=35161>
- Jara, D. (2017). *VDC/BIM EN LA COORDINACIÓN DE ESPECIALIDADES DURANTE EL GERENCIAMIENTO DE PROYECTOS DE CONSTRUCCIÓN*. Tesis de Pregrado, Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco, Cusco.

Montellano, C. (2013). *Procesos de implementación de Tecnologías BIM y diseño bajo las mismas en empresas de Ingeniería*. Tesis doctoral, Fundación Universitaria Iberoamericana, Bolivia, Bolivia.

Pailiacho, M. (2014). *IDENTIFICAR LOS IMPACTOS EN LOS INDICADORES CLAVE DE DESEMPEÑO (KPI) DENTRO DE LA INDUSTRIA AEC POR LA APLICACIÓN DE VDC*. Tesis de Pregrado, UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO, ECUADOR, RIOBAMBA.

Ruiz, P. (2015). *PROPUESTA DE TÉCNICAS Y HERRAMIENTAS PARA OPTIMIZAR LA GESTIÓN VISUAL Y DE LAS COMUNICACIONES DURANTE LA ETAPA DE DISEÑO DE UN PROYECTO DE CONSTRUCCIÓN*. Tesis de Pregrado, Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima, Lima.

Saldias, R. (2010). *Estimación de los beneficios de realizar una coordinación digital de proyectos con tecnologías BIM*. Tesis de Pregrado, Universidad de Chile, Ingeniería Civil.

Salinas, J., & Ulloa, K. (2014). Implementación de BIM en Proyectos Inmobiliarios. *Sinergia e Innovación Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas (UPC)*, 2(1), 226-250.

Taboada, J., Alcántara, V., Lovera, D., Santos, R., & Diego, J. (2011). Detección de interferencias e incompatibilidades en el diseño de proyectos de edificaciones usando tecnologías BIM. *Instituto de Investigación de la Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalurgica y Geográfica*, 14(28).

ANEXOS

Anexo 1. Matriz general de consistencia

<p>Título: “PROPUESTA DE UNA METODOLOGÍA PARA IMPLEMENTAR LAS TECNOLOGÍAS VDC/BIM EN LA ETAPA DE DISEÑO DE LOS PROYECTOS DE EDIFICACIÓN”. PIURA - PERU. 2019</p> <p>Nombre del tesista: SHIRLEY JUDITH MARTÍNEZ AYALA</p>				
Problemas	Objetivos	Hipótesis	Variables/ Indicadores	Metodología
¿Es posible proponer una metodología para implementar las tecnologías VDC/BIM en la etapa de diseño de los proyectos de edificación?	<p>General:</p> <p>Proponer una metodología para implementar las tecnologías VDC/BIM en la etapa de diseño de los proyectos de edificación.</p> <p>Específicos:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Presentar la situación actual de la adopción de BIM en el Perú. - Recopilar información de distintas fuentes bibliográficas, que hayan elaborado guías de implementación, protocolos o formatos de las metodologías VDC/BIM. - Definir los procesos de implementación, así como también a los actores y tareas involucrados en estos 	<p>Es factible proponer una metodología para implementar las tecnologías VDC/BIM en la etapa de diseño de los proyectos de edificación.</p> <p>Justificación:</p> <p>Es conocido por todos que la productividad y nivel de industrialización del sector construcción se ha mantenido a nivel muy por debajo de los estándares de otros sectores productivos. El uso de la tecnología imprecisa y artesanal no proporciona el nivel de detalle, ni la visualización óptima del modelo, esto hace que no se tenga una percepción clara y correcta de como planificar la construcción de una edificación, ocasionando atrasos y entrega de obra fuera del plazo establecido (Costos Educa, 2018).</p>	<p>Variable Independiente:</p> <ul style="list-style-type: none"> - BIM <p>Dimensiones:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Integración de espacialidades. - Interferencias - Costos <p>Indicadores:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Detallado - No detallado - Detección de incompatibilidades - Reducción - Incremento - Ahorro <p>Variable dependiente:</p> <p>VDC</p> <p>Dimensiones:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Participación de los involucrados - Flujo de información 	<p>Enfoque: Cualitativo</p> <p>Diseño: Cualitativo de Investigación documental.</p> <p>Nivel: Descriptivo</p> <p>Tipo: Básica aplicada</p> <p>Métodos y procedimientos:</p> <p>Búsqueda y revisión de fuentes bibliográficas. Se analizará la documentación recolectada, seleccionando la información más relevante. Se propondrá la metodología de implementación de VDC/BIM, describiendo los procesos, las técnicas y herramientas, que sustentan esta metodología y cómo deben organizarse e integrarse de forma ordenada y esquematizada en la etapa de diseño.</p> <p>Técnicas e instrumentos:</p> <p>Técnicas de recolección de datos: Recolección de gabinete.</p> <p>Instrumentos de recolección de datos: Revisión bibliográfica.</p>

	<p>procesos y organizar cada una de las partes.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Identificar las técnicas y herramientas tecnológicas, más idóneas que me ayuden en la optimización de tiempo y recursos. - Integrar los procesos, las técnicas y herramientas definidas. 	<p>Importancia:</p> <p>La importancia de plantear una propuesta de implementación de la tecnología BIM, llevado de la mano con la aplicación de la metodología VDC (Virtual Design and Construction, en la etapa de diseño, radica en mejorar la elaboración de los documentos del proyecto, optimizar el intercambio de información entre los distintos involucrados en el proyecto, anticipando problemas enmarcados en etapas posteriores al diseño, mejora la productividad, y se sustituirá progresivamente el uso de la tecnología artesanal y tradicional, CAD 2D, por herramientas BIM y procesos VDC.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Tiempo de entrega de información - Last Planner System <p>Indicadores:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Reuniones diarias - Reuniones semanales - Reuniones quincenales - Reuniones mensuales - Menos de 50% - Más del 50% - Eficaz - Eficiente - Plan cumplido - No cumplimiento 	
--	---	---	--	--